

Міністерство освіти та науки України
Київський національний університет будівництва та архітектури

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОРДИЯКА РОКСОЛАНА МИХАЙЛІВНА

УДК 721.21

ДИСЕРТАЦІЯ
МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ АРХІТЕКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ
(В УМОВАХ ІСТОРИЧНОЇ ЗАБУДОВИ)

18.00.02 – Архітектура будівель та споруд
Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата архітектури

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Р.М. Кордияка

Науковий керівник: Кащенко Тетяна Олександрівна, кандидат архітектури,
доцент

Київ - 2026

АНОТАЦІЯ

Кордияка Р.М. Методичні основи архітектурної організації енергоефективних громадських будівель (в умовах історичної забудови). – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата архітектури за спеціальністю 191 – «Архітектура та містобудування».

Робота виконана в Київському національному університеті будівництва та архітектури (КНУБА) Міністерства освіти і науки України, Київ, 2026.

У **вступі** розкрито актуальність теми формування енергоефективних будівель в історично складеному архітектурному середовищі з залученням сучасних методів та технологій, оскільки за існуючого антропогенного навантаження на навколишнє середовище та обмеженості ресурсів перед архітектором стоїть завдання синтезу створення збалансованого середовища життєдіяльності на засадах комфорту, екологічної сталості та енергетичної ефективності. Існує необхідність впровадження архітектурних заходів щодо зниження енергетичних витрат на підтримання функціонування будівлі, імплементації прогресивних технологій, використання альтернативних джерел енергії, що в кінцевому результаті передбачає довготермінову ефективну експлуатацію будівлі щодо відповідності критеріям якісної енергоефективної архітектури.

Вирішення вказаних задач відіграє вирішальну роль у питанні енергетичної безпеки країни у зв'язку з великим обсягом використовуваної енергії. Одним із можливих шляхів є постійне перейняття найкращих практик міжнародного досвіду, виокремлення й формування нових методик та заходів залежно від стану та ситуації в національній практиці та законодавча підтримка проєктів зі збереження енергетичних ресурсів, що споживається в різних секторах комунального господарства та будівельного виробництва.

Водночас, зростання інтересу до пам'яток архітектури, загальнопоширених стильових традицій, поява організацій охорони спадщини та культурних комітетів, розвиток та захист міських територій з допомогою сучасної

архітектури - все це сприяло інтеграції спадщини в дискурс підвищення енергоефективності, розвиток архітектурного середовища через включення нових будівель. У той час, коли те, що зараз термінується як "історичні будівлі" було сконструйовано, енергозабезпечення в основному формувалося на основі енергії з місцевих та природних джерел для опалення та функціонування споруд.

Зі зростанням актуальності питання кліматичних змін та впровадження джерел альтернативної енергії, формуються заходи з енергоефективної реновації уже існуючих споруд та утворення нової енергоефективної забудови у вже складеному середовищі, узагальнюються принципи енергозбереження в ареалі історичних будівель, основною ціллю яких є збереження історичної структури забудови, забезпечення зручності користування, її енергоефективності, екологічності.

В першому розділі «**Передумови розвитку історичного архітектурного середовища на засадах енергоефективності**» проведено аналіз історично складеного середовища як архітектурного утворення, що поєднує культурні, просторові та ідентифікаційні характеристики міста. Встановлено, що деградація історичного середовища супроводжується втратою функціональної активності та просторової цілісності забудови, що обумовлює необхідність впровадження комплексних заходів із реновації та енергоефективної трансформації.

Проаналізовано міжнародні та українські *нормативні документи* у сфері енергоефективності, сталого розвитку та охорони культурної спадщини, зокрема директиви ЄС, стандарти EN та державні будівельні норми України. Визначено основні принципи інтеграції енергоефективних рішень у структуру історичного середовища, а також окреслено суперечності між вимогами енергетичної модернізації та збереженням автентичності історичного середовища.

У розділі систематизовано наукові підходи та *дослідження вітчизняних і зарубіжних науковців*, розглянуто наукові праці, присвячені проблемам енергоефективності архітектурного середовища, моделювання теплових процесів, BIM та технологій обчислювальної архітектури, генеративного проєктування та багатокритеріальної оцінки архітектурних рішень.

Досліджено сучасні *міжнародні наукові проєкти та програми*, зокрема *ZenCult, EFFESUS та New European Bauhaus*, що формують комплексний підхід до енергоефективної трансформації історичного середовища. Визначено, що сучасна практика переходить від локальних технічних рішень до інтегрованих моделей, які поєднують моніторинг, моделювання, енергетичну оцінку та цифрові методи підтримки проєктування.

Проаналізовано *вітчизняний та зарубіжний досвід проєктування* енергоефективних будівель у межах історично складеного середовища, виокремлено основні типи інтеграції енергоефективних рішень у історично складене середовище, серед яких: *функціональна репрофілізація з енергоефективною модернізацією, об'ємно-просторова адаптація історичних будівель, реконструкція генеративними методами, контекстна адаптація, новосформовані будівлі як компенсатори енерговитрат середовища, а також генеративна інтеграція нової забудови в історичний контекст.*

У другому розділі «**Теоретико-методичні основи параметричного формування енергоефективних будівель в історично складеному архітектурному середовищі**» розглянуті методологічні та теоретичні основи формування енергоефективної забудови в історично складеному середовищі із застосуванням *параметричного підходу*. Розділ присвячено визначенню принципів, методів та інструментів, що забезпечують аналіз, моделювання й оцінку архітектурних рішень у складному контексті історичного середовища.

Встановлено, що проєктування в межах історично складеного середовища потребує застосування системного підходу, який поєднує *мультидисциплінарні методи аналізу, моделювання та синтезу проєктних рішень*. Визначено, що дослідження історичного середовища повинно базуватись на поєднанні *історико-соціального аналізу*, натурних обстежень, графоаналітичних і типологічних методів, а також *інструментального аналізу* із використанням деструктивних та недеструктивних методів дослідження.

У розділі обґрунтовано доцільність застосування параметричного підходу як методологічної основи формування енергоефективної забудови в історично

складеному середовищі. Встановлено, що параметризація архітектурних рішень дозволяє формалізувати систему взаємозалежних факторів - містобудівних, кліматичних, морфологічних, нормативних та історико-контекстуальних і забезпечити можливість їх комплексного одночасного врахування у процесі проєктування. Запропонований підхід дозволяє перейти від *інтуїтивного* формування архітектурних рішень до керованого варіантного пошуку, заснованого на алгоритмічній логіці та багатокритеріальній оцінці.

Сформовано **класифікацію** критеріїв оцінки енергоефективності архітектурних рішень, а саме: критерії забезпечення комфорту (*характеристики денного освітлення, температурно-вологісного режиму та якості повітря*), забезпечення енергетичних параметрів (*енергопотреби, енергонадходження та показники первинної енергії*), та впливу від споруди на навколишнє середовище (*параметри життєвого циклу будівель та впливу на навколишнє середовище*).

Встановлено, що **передпроектний аналіз** є базовим етапом формування параметричної моделі, оскільки саме на цьому рівні здійснюється збір, систематизація та структуризація *вхідних даних*, визначення *обмежень і допустимих діапазонів* змін параметрів, а також *формування «рамки можливостей»* для подальшого генеративного процесу. Визначено **структуру параметричної моделі**, що складається із *вхідних параметрів (inputs)*, *алгоритмічної обробки даних (pipeline)* та *вихідних результатів (outputs)*. До **вхідних параметрів** віднесено геометричні, кліматичні, містобудівні та історико-контекстуальні характеристики, тоді як **алгоритмічна частина** моделі забезпечує процес генерації, оцінки та оптимізації варіантів проєктних рішень.

У межах дослідження розроблено **параметричний алгоритм** формування енергоефективних будівель в історично складеному середовищі, що включає послідовні етапи *передпроектного аналізу, параметризації характеристик, генерації варіантів, фільтрації рішень та багатокритеріальної оцінки*. Встановлено, що вхідні дані алгоритму повинні включати геометричні та морфологічні характеристики ділянки, параметри навколишньої забудови, кліматичні дані, нормативні обмеження та функціональні вимоги.

Обґрунтовано визначальну роль *генеративних методів* у формуванні варіантності проєктних рішень. Встановлено, що застосування генеративного підходу дозволяє автоматизовано формувати *множину архітектурних варіантів*, досліджувати *простір можливих рішень* та виявляти *оптимальні конфігурації відповідно до заданих критеріїв*. Виділено два основні генеративні підходи - *кліматологічний та еволюційний*, поєднання яких формує *гібридну генеративну модель*, здатну одночасно враховувати енергетичні характеристики та вимоги історичного контексту.

Доведено необхідність застосування системи обмежень та *цільових функцій*, які поділяються на *жорсткі та м'які*. *Жорсткі (булеві) цільові функції* виконують роль нормативних та охоронних фільтрів, що *відсіюють недопустимі варіанти*, тоді як *м'які функції* формують *поле допустимих рішень* та використовуються для їх подальшої багатокритеріальної оцінки. Даний підхід дозволяє забезпечити баланс між регламентованістю проєктування та необхідною варіативністю архітектурних рішень.

Встановлено, що ефективне формування проєктних рішень потребує застосування *багатокритеріальної параметричної оцінки*, яка враховує дуалізм проблеми - необхідність збереження автентичності історично складеного середовища та одночасного впровадження енергоефективного розвитку. Обґрунтовано доцільність використання *еволюційного алгоритму SPEA-2 (Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2)* як інструменту багатокритеріальної оптимізації, здатного формувати Pareto-фронт оптимальних рішень, забезпечувати різноманітність варіантів та стабільність результатів у складних параметричних системах.

Визначено *структуру багатоцільової оцінки*, що базується на поєднанні *енергетичних та контекстуальних критеріїв*. До *енергетичних критеріїв* віднесено інтенсивність використання енергії, річні викиди вуглекислого газу, показники денного освітлення, теплового комфорту та потенціалу виробництва енергії з відновлюваних джерел. *Контекстуальні критерії* включають відповідність пропорціям фасадів, ритмічній структурі забудови, висотним

обмеженням та регулювальним лініям, допустимому рівню інтеграції інженерних систем отримання енергії з відновлюваних джерел без втрати цілісності архітектурного образу історичного середовища.

Окремо виділено роль **булевих цільових функцій** як інструменту первинної фільтрації варіантів за принципом істинності або хибності. Обґрунтовано застосування **гібридного підходу**, що поєднує булеві фільтри із багатокритеріальною оцінкою, використанням маргінальних критеріїв та поетапної перевірки рішень. Даний підхід дозволяє уникнути передчасного відсіювання перспективних варіантів і забезпечити більш збалансований процес пошуку оптимальних архітектурних рішень.

Встановлено, що застосування методів **паралельної компутації та формування беклогів** обчислень дозволяє значно підвищити ефективність генеративного процесу, скоротити час опрацювання великої кількості варіантів та забезпечити масштабованість параметричного алгоритму.

Узагальнення результатів другого розділу дозволило сформувавши цілісну методику архітектурної організації нових енергоефективних будівель в історично складеному середовищі, що базується на поєднанні *передпроектного аналізу, параметричного та генеративного моделювання, системи булевої фільтрації, багатокритеріальної оцінки проектних рішень*. Запропонований підхід забезпечує можливість формування адаптивних, енергоефективних і контекстуально інтегрованих архітектурних рішень у межах історично складеного міського середовища.

У третьому розділі **«Реалізація параметричного алгоритму при формуванні енергоефективних будівель у історично складеному середовищі»** розглянуто практичне застосування параметричних методів у процесі формування нових енергоефективних громадських будівель з адміністративною функцією в межах історично складеного середовища. Визначено основні *архітектурно-кліматичні, функціонально-організаційні та об'ємно-просторові прийоми*, спрямовані на поєднання енергоефективності, адаптивності та контекстуальної інтеграції нової забудови.

У межах дослідження встановлено, що **архітектурно-кліматичні прийоми** повинні формуватися як система взаємопов'язаних кліматичних, морфологічних та інженерних рішень. Серед основних прийомів виділено *системи подвійної фасадної оболонки, формування атріумів і пасажів, орієнтаційне зонування, сонцезатіняючі пристрої, динамічну вентиляцію та пасивне охолодження, теплоакмуляцію конструкцій, герметизацію та вторинне скління*. Визначено, що поєднання пасивних стратегій із адаптивними інженерними системами забезпечує зниження енергоспоживання та покращення мікроклімату будівель.

Сформовано систему **функціонально-організаційних прийомів** формування енергоефективних будівель з адміністративною функцією. Виділено прийоми *централізованого розташування теплового ядра та буферних зон, сценарного зонування, модульності та гнучкості простору, адаптації до пікових навантажень і оптимізації теплових потоків*. Визначено, що параметричний підхід дозволяє розглядати будівлю як систему взаємопов'язаних змінних, де користувацькі потоки та мікрокліматичні параметри безпосередньо впливають на конфігурацію простору.

Розроблено **логіку параметризації функціонально-організаційних рішень**, що включає *моделювання контекстуальних умов, декомпозицію параметрів, встановлення взаємозалежностей між ними, генерацію варіантів та їх багатокритеріальну оцінку*. Визначено, що застосування параметричного моделювання дозволяє автоматизувати процес пошуку оптимальних планувальних конфігурацій відповідно до критеріїв енергоефективності, комфорту та контекстуальної інтеграції.

У розділі визначено основні **об'ємно-просторові прийоми** формування енергоефективних будівель у історично складеному середовищі, серед яких: *лінійне замикання історичної забудови, окреме об'ємне включення, формування надбудов, інтегрований внутрішньоквартальний розвиток, реконструкція фасадного об'єму та морфологічне дублювання*. Встановлено, що їх

застосування дозволяє поєднати сучасні енергоефективні рішення із збереженням масштабності, силуету та морфологічної структури історичного середовища.

Підсумовуючи, у роботі розроблено методику параметричного формування енергоефективних громадських будівель у історично складеному середовищі, що базується на поєднанні передпроектного аналізу, параметризації контекстуальних характеристик, генеративного моделювання та багатокритеріальної оцінки архітектурних рішень. Сформульовано архітектурно-кліматичні, функціонально-організаційні та об'ємно-просторові прийоми інтеграції нової забудови в історичне середовище, а також визначено систему критеріїв і параметрів оцінювання енергоефективності та контекстуальності проектних рішень. Запропонований підхід створює основу для формування адаптивних, енергоефективних та контекстуально інтегрованих архітектурних рішень у практиці сучасного архітектурного проектування.

Перспективи подальших досліджень полягають у розвитку методів генеративного та BIM-моделювання при проектуванні енергоефективних будівель, удосконаленні алгоритмів багатокритеріальної оцінки та інтеграції цифрових методів оцінки енергоефективності у нормативно-проектну практику України.

Ключові слова: історично складене середовище, енергоефективна архітектура, енергоефективні громадські будівлі, параметричне моделювання, генеративне проектування, генеративні алгоритми, багатокритеріальна оптимізація, контекстуальна інтеграція, архітектурно-кліматичні прийоми, функціонально-планувальні прийоми, об'ємно-просторові прийоми, адаптивна архітектура, енергоефективна реновація, історична забудова, генеративна інтеграція, алгоритмічне проектування, еволюційні алгоритми, збереження культурної спадщини, фотограмметрія, типологічні особливості.

ABSTRACT

Kordyiaka R.M. Methodical basics of the Architectural Organization of Energy-Efficient Public Buildings (Within Historic Environment) – Qualifying scientific work as manuscript.

The thesis for a scientific degree in architecture by specialty 18.00.02 - Architecture of Buildings and Structures. The work was carried out in Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA) of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 2026

The introduction substantiates the relevance of the topic of forming energy-efficient buildings within the historic architectural environment through the application of modern methods and technologies, since under the conditions of increasing anthropogenic pressure on the environment and limited resources, architects are faced with the task of synthesizing a balanced living environment based on the principles of comfort, environmental sustainability, and energy efficiency. There is a need to implement architectural measures aimed at reducing energy consumption required for building operation, integrating advanced technologies, and utilizing alternative energy sources, which ultimately ensures the long-term efficient operation of buildings in accordance with the criteria of high-quality energy-efficient architecture.

Furthermore, addressing these issues plays a crucial role in ensuring the country's energy security due to the large volume of energy consumption. One of the possible approaches involves the continuous adoption of best international practices, the development of new methodologies and measures adapted to national conditions and legislation, as well as legislative support for projects focused on the conservation of energy resources consumed in various sectors of municipal infrastructure and the construction industry.

At the same time, growing interest in architectural heritage, widespread stylistic traditions, the emergence of heritage protection organizations and cultural committees, as well as the development and protection of urban areas through contemporary

architecture, have contributed to the integration of heritage preservation into the discourse of energy efficiency and the development of architectural environments through the inclusion of new buildings. At the time when what is now referred to as “historic buildings” was originally constructed, energy supply was primarily based on local and natural energy sources used for heating and building operation.

With the increasing significance of climate change issues and the implementation of renewable energy sources, approaches to the energy-efficient renovation of existing buildings and the development of new energy-efficient architecture within already established urban environments are being formed. Principles of energy conservation within historic areas are being generalized, ranging from initial research to appropriately designed interventions, the primary objectives of which are the preservation of the historic structure, user comfort, energy efficiency, and environmental sustainability.

The first chapter, ***“Prerequisites for the Development of the Historic Architectural Environment Based on Energy Efficiency”***, examines the *historic environment* as an architectural formation that combines cultural, spatial, and identity-related characteristics of the city. It was determined that the degradation of the historic environment is accompanied by the loss of functional activity and spatial integrity of urban development, which necessitates the implementation of comprehensive measures for *renovation* and *energy-efficient transformation*.

International and Ukrainian ***regulatory documents*** in the fields of *energy efficiency*, *sustainable development*, and *cultural heritage protection* were analyzed, including *EU directives*, *EN standards*, and Ukrainian state building codes. The main principles of integrating *energy-efficient solutions* into the structure of the historic environment were identified, and the contradictions between the requirements of *energy modernization* and the preservation of the authenticity of the historic environment were outlined.

The chapter systematizes ***scientific approaches*** and studies by Ukrainian and international scholars, including research dedicated to the *energy efficiency of the architectural environment*, *thermal process modeling*, *BIM* and *computational*

architecture technologies, generative design, and multi-criteria evaluation of architectural solutions.

Contemporary international *scientific projects and programs*, including *3enCult, EFFESUS*, and the *New European Bauhaus*, which establish a comprehensive approach to the *energy-efficient transformation* of the historic environment, were also examined. It was determined that current practice is shifting from isolated technical solutions toward *integrated models* that combine monitoring, simulation, energy assessment, and digital methods for design support.

The chapter also analyzes Ukrainian and international experience in designing *energy-efficient buildings* within historically established environments. The main types of integration of energy-efficient solutions into the historic environment were identified, including *functional reprofiling with energy-efficient modernization, spatial adaptation of historic buildings, reconstruction through generative methods, contextual adaptation*, newly formed buildings as compensators for environmental energy losses, and the *generative integration* of new development into the historic context.

In the second chapter, “**Theoretical and Methodological Foundations of Parametric Formation of Energy-Efficient Buildings in the Historic Architectural Environment**”, the methodological and theoretical foundations for the formation of energy-efficient development within historically formed environments using a *parametric approach* are examined. The chapter is devoted to identifying the principles, methods, and tools that ensure comprehensive analysis, modeling, and optimization of architectural solutions within the complex context of historic environments.

It was established that *designing* within historically formed environments requires the application of a systemic approach combining *multidisciplinary methods of analysis, modeling, and synthesis of design solutions*. It was determined that the study of historic environments should be based on the integration of **historical and social analysis**, field surveys, graphic-analytical and typological methods, as well as **instrumental analysis** using destructive and non-destructive research methods.

The chapter substantiates the feasibility of applying the parametric approach as a methodological basis for the formation of energy-efficient development in historically formed environments. It was established that the parameterization of architectural solutions makes it possible to formalize a system of interrelated factors - urban-planning, climatic, morphological, regulatory, and historical-contextual - and ensure the possibility of their simultaneous comprehensive consideration within the design process. The proposed approach allows a transition from *intuitive* formation of architectural solutions to *controlled variant-based search* grounded in **algorithmic logic and multi-criteria evaluation**.

A **classification** of criteria for assessing the energy efficiency of architectural solutions has been developed, namely: *criteria for ensuring comfort* (characteristics of daylighting, thermal and humidity conditions, and indoor air quality), *ensuring energy performance* (energy demand, energy gains, and primary energy indicators), and the *environmental impact of buildings* (building life-cycle parameters and environmental impact indicators).

It was established that **pre-design analysis** is a key stage in the formation of a parametric model, since it is at this level that the collection, systematization, and structuring of *input data*, the definition of constraints and permissible ranges of parameter variation, and the formation of the “framework of possibilities” for the subsequent generative process are carried out. The **structure of the parametric model** was defined as consisting of input parameters (*inputs*), algorithmic data processing (*pipeline*), and output results (*outputs*). The *input parameters* include geometric, climatic, urban-planning, and historical-contextual characteristics, while the *algorithmic component* of the model ensures the generation, evaluation, and optimization of design solution variants.

Within the framework of the research, a **parametric algorithm** for forming energy-efficient buildings in historically formed environments was developed, including the successive stages of *pre-design analysis*, *parameterization of characteristics*, *generation of variants*, *filtering of solutions*, *evaluation*, and *multi-criteria optimization*. It was established that the input data of the algorithm should

include geometric and morphological characteristics of the site, parameters of surrounding development, climatic data, regulatory constraints, and functional requirements.

The determining role of **generative methods** in the formation of design variability was substantiated. It was established that the use of a generative approach enables the automated formation of *multiple architectural variants*, exploration of the space of possible solutions, and identification of *optimal configurations according to specified criteria*. Two main generative approaches were distinguished — *climatological* and *evolutionary* — whose combination forms a **hybrid generative model** capable of simultaneously considering energy characteristics and the requirements of the historic context.

The necessity of applying a system of constraints in the form of **objective functions** was proven. These are divided into hard and soft constraints. **Hard (Boolean) objective functions** perform the role of regulatory and protective filters that eliminate unacceptable variants, while *soft objective functions* form the field of permissible solutions and are used for their further multi-criteria evaluation. This approach ensures a balance between the regulated nature of *design* and the necessary variability of architectural solutions.

It was established that the effective formation of *design solutions* requires the application of **multi-criteria parametric optimization**, which takes into account the duality of the problem — the necessity of preserving the authenticity of historically formed environments while simultaneously implementing energy-efficient development. The feasibility of using the evolutionary algorithm **SPEA-2** (*Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2*) as a tool for multi-criteria optimization was substantiated, since it is capable of forming a Pareto front of optimal solutions, ensuring diversity of variants and stability of results within complex parametric systems.

The **structure of multi-objective optimization** based on the combination of energy and contextual criteria was defined. *Energy criteria* include the intensity of energy use, annual carbon dioxide emissions, indicators of daylighting, thermal

comfort, and the potential for renewable energy production. *Contextual criteria* include compliance with façade proportions, rhythmic structure of development, height restrictions, regulatory lines, and the permissible level of integration of renewable energy sources without loss of the architectural integrity of the historic environment.

Separately, the role of **Boolean objective functions** as a tool for the primary filtering of variants according to the principle of truth or falsity was highlighted. The application of a **hybrid approach** combining Boolean filters with *multi-criteria evaluation*, the use of marginal criteria, and step-by-step verification of solutions was substantiated. This approach makes it possible to avoid the premature elimination of promising variants and to ensure a more balanced process of searching for optimal architectural solutions.

It was established that the application of methods of **parallel computing and backend formation** significantly increases the efficiency of the generative process, reduces the processing time for large numbers of variants, and ensures the scalability of the parametric algorithm.

The generalization of the results of the second chapter made it possible to formulate an integral methodology for the architectural organization of new energy-efficient buildings within historically formed environments, based on the combination of *pre-design analysis, parametric and generative modeling, a Boolean filtering system, multi-criteria optimization, and algorithmic evaluation of design solutions*. The proposed approach ensures the possibility of forming adaptive, energy-efficient, and contextually integrated architectural solutions within historically formed urban environments.

In the third chapter, “**Implementation of the Parametric Algorithm in the Formation of Energy-Efficient Buildings in the Historic Environment**”, the practical application of parametric methods in the process of forming new energy-efficient public buildings with administrative functions within historically formed environments is examined. The main *architectural-climatic, functional-planning, and volumetric-spatial techniques* aimed at combining energy efficiency, adaptability, and contextual integration of new development were identified.

Within the framework of the research, it was established that **architectural-climatic techniques** should be formed as a system of interrelated climatic, morphological, and engineering solutions. Among the main techniques identified are *dynamic ventilation and passive cooling, double-skin façade systems, thermal mass accumulation of structures, orientation-based zoning, sun-shading devices, airtightness and secondary glazing, as well as the formation of atriums and passages*. It was determined that the combination of passive strategies with adaptive engineering systems ensures reduced energy consumption and improves the microclimate of buildings.

A system of **functional-planning techniques** for the formation of energy-efficient buildings with administrative functions was developed. The identified techniques include *centralized placement of thermal cores and buffer zones, organization of cross ventilation, scenario-based zoning, modularity and flexibility of space, adaptation to peak loads, and optimization of heat flows*. It was established that the parametric approach makes it possible to consider a building as a system of interrelated variables, where user flows and microclimatic parameters directly influence spatial configuration.

The **logic of parameterization of functional-planning solutions** was developed, including the modeling of contextual conditions, decomposition of parameters, identification of interdependencies between them, generation of variants, and their multi-criteria evaluation. It was determined that the application of parametric modeling enables the automation of the search for optimal planning configurations according to the criteria of energy efficiency, comfort, and contextual integration.

The chapter identifies the main **volumetric-spatial techniques** for the formation of energy-efficient buildings within historically formed environments, including: *linear enclosure of historic development, isolated volumetric insertion, formation of superstructures, integrated inner-block development, reconstruction of façade volumes, and morphological duplication*. It was established that the application of these techniques makes it possible to combine contemporary energy-efficient solutions

with the preservation of the scale, silhouette, and morphological structure of the historic environment.

In conclusion, the dissertation develops a methodology for the parametric formation of energy-efficient public buildings within historically formed environments based on the combination of *pre-design analysis, parameterization of contextual characteristics, generative modeling, and multi-criteria evaluation of architectural solutions*. Architectural-climatic, functional-planning, and volumetric-spatial techniques for integrating new development into historic environments were formulated, and a system of criteria and parameters for evaluating the energy efficiency and contextuality of design solutions was defined. The proposed approach creates the basis for forming adaptive, energy-efficient, and contextually integrated architectural solutions in contemporary architectural design practice.

The prospects for further research lie in the development of generative and BIM modeling methods in the design of energy-efficient buildings, the improvement of multi-criteria evaluation algorithms, and the integration of digital methods for assessing energy efficiency into the regulatory and design practice of Ukraine.

Keywords: historic environment, energy-efficient architecture, energy-efficient public buildings, parametric modeling, generative design, generative algorithms, multi-criteria optimization, contextual integration, architectural and climatic approaches, functional and planning approaches, spatial and volumetric approaches, adaptive architecture, energy-efficient renovation, historic development, generative integration, algorithmic design, evolutionary algorithms, cultural heritage preservation, photogrammetry, typological features.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Методики дослідження стану енергоефективності історичної забудови (2023) / Т.О. Кащенко, Р.М. Колісник // Сучасні проблеми архітектури та містобудування, вип. 65, с. 282-290 <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.65.282-290>

Особистий внесок здобувача: аналіз методик оцінки енергоефективності історичної забудови та систематизація критеріїв її дослідження.

2. Сучасні вимоги до енергоефективної реновації історичної забудови (2024) / Т.О. Кащенко, Р.М. Кордияка // Сучасні проблеми архітектури та містобудування, вип. 68, с. 260-267 <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.68.260-267>

Особистий внесок здобувача: дослідження сучасних вимог та виокремлення принципів енергоефективної реновації історично складеного середовища.

3. Генеративне моделювання при формуванні енергоефективних будівель в історично складеному середовищі (2026) / Р.М. Кордияка // Містобудування та територіальне планування, вип. 91, с. 170-178 <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2026.91.170-178>

Публікації, що додатково відображають результати досліджень

4. Містобудівні та архітектурні прийоми інтеграції сонячних електростанцій в громадські комплекси / Л. О. Шулдан, Р. М. Колісник // Комунальне господарство міст. Серія : Технічні науки та архітектура. - 2018. - Вип. 142. - С. 190-198. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_142_36

Особистий внесок здобувача: аналіз та систематизація архітектурних і містобудівних прийомів інтеграції сонячних енергетичних систем у структуру громадських комплексів.

Тези конференцій

5. Шулдан Л. О., Колісник Р. М. Містобудівні та архітектурні прийоми застосування елементів СЕС для громадських комплексів. Матеріали III Міжнародного науково-практичного конгресу «Міське середовище – XXI ст. Архітектура. Будівництво. Дизайн». Київ, 2018. С. 282–283.

Особистий внесок здобувача: аналіз архітектурних прийомів інтеграції сонячних енергетичних систем у структуру громадських комплексів.

6. Кащенко Т. О., Колісник Р. М. Сучасні прийоми формування житлових кварталів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Буд-майстер-клас-2020». Київ, КНУБА, 2020. С. 64–64.

Особистий внесок здобувача: аналіз сучасних принципів формування житлових кварталів та їх об'ємно-просторової організації.

7. Кащенко Т. О., Колісник Р. М. Мультирівневий підхід при аналізі енергоефективності історичної забудови. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Буд-майстер-клас-2022». Київ, КНУБА, 2022. С. 79–80.

Особистий внесок здобувача: аналіз чинників енергоефективності історичної забудови та методів їх багаторівневої оцінки.

8. Кащенко Т. О., Колісник Р. М. Методики аналізу енергоефективності при реконструкції історичної забудови. Матеріали XIV Всеукраїнської наукової конференції «Сучасна архітектурна освіта. Архітектура – Дизайн – Мистецтво України: відбудова, реконструкція, реставрація». Київ, КНУБА, 2022. С. 54–56.

Особистий внесок здобувача: дослідження методів оцінки енергоефективності при реконструкції історично сформованого міського середовища.

9. Кащенко Т. О., Кордяка Р. М. Досвід реновації промислових будівель в історичній забудові. Матеріали XV Всеукраїнської наукової конференції «Сучасна архітектурна освіта. Архітектура – Дизайн – Мистецтво України: відбудова, реконструкція, реставрація». Київ, КНУБА, 2023. С. 61–63.

Особистий внесок здобувача: аналіз прикладів реновації промислових будівель та їх інтеграції в історично сформоване середовище.

10. Кордияка Р. М., Кащенко Т. О. Аналіз чинників, що впливатимуть на реновацію історично складеного середовища. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «Буд-майстер-клас-2024». Київ, КНУБА, 2024. С. 37–38.

Особистий внесок здобувача: дослідження чинників, що впливають на реновацію історично складеного середовища, та систематизація факторів прийняття рішень щодо впровадження енергоефективних заходів

ЗМІСТ

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК.....	23
ВСТУП.....	25
РОЗДІЛ I: ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ ІСТОРИЧНОГО АРХІТЕКТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЗАСАДАХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....	37
1.1 Формування передумов розвитку енергоефективності історичного складеного архітектурного середовища.....	37
1.2 Аналіз теоретичних напрацювань з енергоефективної модернізації історично складеного архітектурного середовища.....	49
1.3 Досвід проектування енергоефективних будівель в історично складеному архітектурному середовищі.....	63
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ I	78
РОЗДІЛ II: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ В ІСТОРИЧНО СКЛАДЕНОМУ АРХІТЕКТУРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....	80
2.1 Загальні методи дослідження історичного середовища	80
2.2 Методи комплексного аналізу історичної забудови.....	93
2.3 Методи обчислювального моделювання енергоефективних будівель.....	114
2.4 Основні критерії оцінки енергоефективності історично складеного архітектурного середовища.....	122
2.5 Параметричний алгоритм формування енергоефективних будівель в історично складеному середовищі.....	134
2.5.1 Вхідні дані для параметричного алгоритму.....	134
2.5.2 Застосування генеративних методів при формуванні енергоефективних будівель в історично складеному середовищі.....	139
2.5.3 Метод багатокритеріальної оцінки енергоефективних будівель в контексті історично складеного середовища.....	149

2.5.4 Цільові функції при формуванні енергоефективних будівель в межах історично складеного середовища.....	156
2.5.5 Оцінка енергоефективності та параметричні складові.....	166
2.5.6 Створення беклогів та процесів паралельної компутації при формуванні архітектурних рішень будівель.....	169
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ II.....	173

РОЗДІЛ III: РЕАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРИЧНОГО АЛГОРИТМУ ПРИ ФОРМУВАННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ У ІСТОРИЧНО СКЛАДЕНОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....

3.1 Архітектурно-кліматичні прийоми у формуванні енергоефективних будівель в історично складеному середовищі.....	175
3.2 Функціонально-організаційні прийоми у формуванні енергоефективних будівель в історично складеному середовищі.....	187
3.3 Об'ємно-просторові прийоми у формуванні енергоефективних будівель в історично складеному середовищі.....	201

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ III.....

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

ДОДАТОК А. Впровадження та апробація результатів дослідження.....

ДОДАТОК Б. Участь у міжнародних освітніх проєктах, курсах підвищення кваліфікації, воркшопах.....

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК

Архітектурне середовище - це багаторівнева система взаємопов'язаних просторових, історико-культурних, функціональних та природно-кліматичних компонентів забудови, що формують умови життєдіяльності людини та визначають функціональні, естетичні, соціокультурні й екологічні характеристики простору.

Булеві фільтри - інструменти логічного відбору та комбінування даних або геометричних об'єктів на основі операцій двійковим методом, що використовуються для уточнення результатів пошуку, параметричного моделювання або геометричних трансформацій.

Відновлювані джерела енергії - це природні ресурси, які поповнюватимуться, щоб замінити частину, вичерпану внаслідок використання та споживання, або шляхом природного відтворення, або інших періодичних процесів за кінцевий проміжок часу в людському масштабі часу.

Генеративні алгоритми - алгоритмічні методи формоутворення, які забезпечують автоматичне створення множини варіантів архітектурних рішень на основі заданих правил, параметрів, обмежень та критеріїв оцінювання.

Генетичний алгоритм - евристичний метод оптимізації, заснований на принципах природного добору, який використовується для пошуку оптимальних проектних рішень шляхом послідовної генерації та оцінки множини варіантів.

Еволюційний алгоритм - клас алгоритмів оптимізації та пошуку рішень, заснованих на принципах еволюції, зокрема відбору, мутації, схрещування, що застосовуються для автоматизованого формування й оптимізації рішень у складних багатопараметричних системах.

Енергоефективна реновація - комплекс заходів із модернізації будівлі, спрямованих на зниження енергоспоживання, підвищення теплотехнічних характеристик та покращення експлуатаційної ефективності.

Історично складене архітектурне середовище - просторово сформована міська або архітектурна структура, що виникла в процесі тривалого історичного

розвитку та характеризується цінною планувальною, композиційною, культурною й архітектурною спадщиною, яка визначає ідентичність території.

Оболонка будівлі - це система зовнішніх огорожувальних конструкцій, яка формує просторову межу будівлі та забезпечує її функціональний, теплотехнічний і енергетичний захист.

Параметричне моделювання - метод цифрового проєктування, при якому геометрія, властивості та взаємозв'язки елементів архітектурного об'єкта визначаються через систему параметрів і алгоритмічних залежностей, що дає змогу автоматично змінювати форму та характеристики моделі при зміні вихідних даних.

Пасивне охолодження - це підхід до проєктування будівлі, який фокусується на контролі надбавки тепла та відведенні тепла в будівлі з метою поліпшення теплового комфорту в приміщенні при низькому споживанні енергії або взагалі без нього.

Пасивні теплові технології – технології, що використовують сонячне світло без активних механічних систем (на відміну від активних сонячних). Такі технології перетворюють сонячне опромінення на корисне тепло (у воді, повітрі та тепловій масі), викликають рух повітря для вентиляції та ін., мало використовуючи інші джерела енергії.

Теплова ізоляція - елементи конструкції, що зменшують передачу теплоти через огорожувальні конструкції будівлі

Термічний опір - це теплова властивість і вимірювання різниці температур, за допомогою якої предмет або матеріал протистоїть тепловому потоку.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. На сучасному етапі розвитку, за існуючого антропогенного навантаження на навколишнє середовище та обмеженості ресурсів, перед архітектором стоїть завдання синтезу створення збалансованого середовища життєдіяльності на засадах комфорту, екологічної сталості та енергетичної ефективності. Тому існує необхідність впровадження архітектурних заходів щодо зниження енергетичних витрат на підтримання функціонування будівлі, імплементації прогресивних технологій та альтернативних джерел енергії, що в кінцевому результаті передбачає довготермінову ефективну експлуатацію будівлі щодо відповідності критеріям якісної енергоефективної архітектури.

Також, вирішення вказаних задач відіграє вирішальну роль у питанні енергетичної безпеки країни у зв'язку з великим обсягом використовуваної енергії. Одним із можливих шляхів є постійне перейняття найкращих практик міжнародного досвіду, виокремлення й формування нових методик та заходів залежно від стану та ситуації в національній практиці та законодавча підтримка проєктів зі збереження енергетичних ресурсів, що споживається в різних секторах комунального господарства та будівельного виробництва.

Водночас, зростання інтересу до пам'яток архітектури, загальнопоширених стильових традицій, поява організацій охорони спадщини та культурних комітетів, розвиток та захист міських територій з допомогою сучасної архітектури - все це сприяло інтеграції спадщини в дискурс підвищення енергоефективності, розвиток архітектурного середовища через включення нових будівель. У той час, коли те, що зараз термінується як "історичні будівлі" було сконструйовано, енергозабезпечення в основному формувалося на основі енергії з місцевих та природних джерел для опалення та функціонування споруд.

Зі зростанням актуальності питання кліматичних змін та впровадження джерел альтернативної енергії, формуються заходи з енергоефективної реновації уже існуючих споруд та утворення нової енергоефективної забудови у вже складеному середовищі, узагальнюються принципи енергозбереження в ареалі

історичних будівель, від першого дослідження до адекватно розробленого втручання, основною ціллю яких є збереження історичної структури, забезпечення зручності користування, енергоефективності, екологічності.

Важливою місією в межах підвищення потенціалу історично складеного середовища повинна бути спеціалізація розвитку архітектурного середовища з підвищенням його енергоефективності. Зменшення енергопотреб, екологічна компенсація енерговитрат, встановлення відновлюваних джерел енергії – все це задачі, які повинні реалізовуватися в межах політики реновації та покращення уже існуючого будівельного фонду не лише для економії витрат на експлуатацію, а й для наближення до автономності будівель, що сприятиме економічній та енергетичній незалежності як окремих будівель, так і міського сектору, що позитивно впливає на безпеку країни в цілому.

На сьогоднішній день, існуючий фонд історично складеного середовища має значні проблеми з організацією енергозабезпечення, що призводить до постійних перевитрат коштів на опалення та охолодження, вимушеного скорочення періодів експлуатації будівель та незадовільного мікроклімату приміщень [74]. Водночас, відсутність адаптації історично складеного середовища до сучасних умов та реалій призводить до зниження його перспективності та як наслідок - поступового занепаду. Цінність історично складеного архітектурного середовища окреслюється тим значенням, яке воно має для міської ідентичності міста та його мешканців, тож його занепад та деградація – призводять до втрати вагомості складової ідентифікації міста.

Підвищення енергоефективності історично складеного архітектурного середовища, зменшує енергопотреби у використанні паливних ресурсах, що впливає на зменшення парникових викидів в навколишнє середовище. Новосформована будівля за вимогами енергоефективності, використовуючи засоби альтернативної енергетики, може виробляти той надлишок, який забезпечуватиме чистою енергією навколишні історично сформовані будівлі, а також бути ядром та каталізатором процесів, пов'язаних із перспективним розвитком середовища.

У зазначених умовах особливої актуальності набуває впровадження параметричних підходів до архітектурної організації енергофактивних нових будівель, що дозволяють перейти від статичного формування рішень до керованого процесу варіантного моделювання. Параметризація архітектурно-планувальних рішень забезпечує можливість одночасного врахування широкого спектра факторів - кліматичних, морфологічних, функціональних та енергетичних - і формує основу для багатокритеріальної оцінки ефективності проєктних пропозицій. У контексті історично складеного середовища це набуває особливого значення, оскільки дозволяє узгоджувати вимоги енергоефективності із завданнями збереження автентичності, масштабності та композиційної цілісності забудови.

Параметричний підхід створює можливість переходу до динамічного моделювання архітектурних об'єктів, де форма, функція та енергетичні показники взаємопов'язані через систему змінних. Окремі рішення оцінюються на етапі проєктування, де відбувається варіювання ключових параметрів та аналіз їхнього впливу на показники якості середовища. У результаті формується більш обґрунтований підхід до прийняття проєктних рішень, що базується на кількісному аналізі.

Важливим аспектом є здатність параметричного підходу відображати архітектурний образ та морфологічні особливості історично складеного середовища у вигляді формалізованих залежностей. Щільність забудови, масштабні співвідношення, ритм, пропорції та характер просторових зв'язків інтерпретуються як параметри, що впливають на формування нових будівель.

Разом з тим, попри значний потенціал параметричних методів, їх впровадження в практику в умовах історично складеного середовища залишається обмеженим та недостатньо систематизованим, в основному – через відсутність чітко структурованих методичних підходів до визначення параметрів, їх ієрархії та взаємозв'язків ускладнює використання параметричного моделювання як повноцінного інструменту прийняття архітектурних рішень.

Зокрема, проблемним залишається питання інтеграції кількісних показників енергоефективності з якісними характеристиками історичного середовища, що формує дуалістичну природу проблеми технологічного розвитку та збереження архітектурної спадщини.

У межах даного дослідження окрема увага приділяється громадським будівлям з адміністративною функцією, оскільки такі будівлі є важливими елементами формування міського простору, що впливають на його композицію, ієрархію та характер використання, а також стають ядром зосередження перспективних змін та впровадження енергоефективного розвитку. Громадські будівлі з адміністративною функцією, як правило, розташовуються у центральних частинах міст або в межах історичних ареалів, що обумовлює підвищені вимоги до їх інтеграції в існуюче середовище.

Відповідно, параметричний підхід розглядається як інструмент, що забезпечує інтеграцію різних груп архітектурних прийомів, серед яких ключовими виступають архітектурно-кліматологічні, функціонально-організаційні та об'ємно-формотворчі.

У зв'язку з цим, актуальним постає питання формування цілісного методичного підходу до застосування параметричного моделювання, який би дозволяв не лише генерувати варіанти проєктних рішень, але й системно їх оцінювати за сукупністю критеріїв. Особливої ваги набуває визначення структури параметрів та їх взаємодії в межах єдиного алгоритмічного середовища, для інтеграції архітектурних прийомів різного рівня.

Дослідження спрямоване на виявлення закономірностей та принципів параметричного формування енергоефективних громадських будівель з адміністративною функцією в історично складеному середовищі, з урахуванням багатокритеріальності проєктного процесу та необхідності узгодження технічних і культурно-історичних вимог. Це визначає необхідність розробки відповідних методів, що забезпечуватимуть перехід від фрагментарного застосування окремих рішень до системної організації архітектурного проєктування в умовах сучасних викликів.

Дослідження вищевказаних проблем відображені у працях вітчизняних і зарубіжних науковців.

Питання *збереження та трансформації історичного середовища* розглядали: Куцевич В. [158], Бевз М. [128], Брідня Л. [129], Слєпцов О. [180], Товбич В. [181], Лещенко Н. [79][80], Коротун І. [156], Проскураков В. [175], Ідак Ю. [64], Меженна Н. [124], Шебек Н. [182], Чепелик В. [186], Габрель М. [144], Рибчинський О. [176], Дубик Ю. та ін.

Питання *енергоефективної архітектури та впливу об'ємно-просторових параметрів* досліджували: Кашенко Т. [148], Шулдан Л. [192], Фоменко О. [70], Данько К. [134], Моргул В. [166], Чижмак Д. [189], Бахтін Д. [127] та ін., *геометричні та фізико-математичні методи моделювання* в архітектурі розглянуто у працях Сергейчука О. [178], Мартинова В. [163], Левченка О. [159], Буравченка С., Буравченка В. [131].

Цифрові та параметричні методи проєктування, висвітлено у працях Левченка О. [160], Михайленка А., Череватого А., Аранчія Д., а також у дослідженнях зарубіжних авторів: Данг М., ван ден Добельштейн Е., Воскуйлен П. [26], Кроненбенгер Х. [51] та ін.

Питання *енергоефективної реновації історичних будівель у міжнародному контексті* досліджували: Шмигін Б. [122], Трой А. [111], Екснер Д. [49], Хаас Ф. [19], Боттіно-Леоне Д. [17], Баллест Ж. [11], та ін. Застосування генеративних підходів і багатокритеріальної оптимізації розглянуто у працях Чан С., Ші Х. [22], Круз К., Калдас Л., Мендес Н. [25], Алексакіс Х. [8] та ін.

Водночас, існуючі дослідження переважно розглядають окремі аспекти, без їх комплексної інтеграції в єдину модель формування енергоефективних громадських будівель в історично складеному середовищі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами: Дисертаційна робота виконана у відповідності до державних стратегічних напрямів розвитку, спрямованих на підвищення енергоефективності, впровадження принципів сталого розвитку та збереження історико-культурної спадщини.

Напрямок дослідження узгоджується з положеннями Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» (2017, чинна редакція 2021 р.), який визначає правові та організаційні засади забезпечення енергоефективності об'єктів будівництва, а також узгоджується із Законом України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (2019 р.), який передбачає перехід до низьковуглецевого розвитку, зменшення викидів парникових газів та впровадження екологічно збалансованих рішень у будівництві. Особливе значення для теми дослідження має Закон України «Про охорону культурної спадщини» (2000 р.), що регламентує збереження об'єктів історичного середовища та визначає правові межі втручання.

Дисертаційну роботу виконано у межах наукової теми «Принципи формування сучасних типів цивільних будівель і споруд» (державний реєстраційний номер 0121U13086, зареєстрована 22.09.2021 р. на кафедрі архітектурного проектування цивільних будівель і споруд КНУБА.

Результати дослідження спрямовані на розвиток методів архітектурної організації енергоефективних громадських будівель у межах історично складеної забудови, а також на удосконалення підходів до параметричного моделювання та прийняття проектних рішень у контексті сучасних нормативних та стратегічних вимог.

Рекомендації, подані у дисертаційному дослідженні, були впроваджені у наступних проектах: реконструкція під адміністративну будівлю по вул. Шевченка, 88а у м. Львові, нове будівництво багатоквартирного житлового будинку з об'єктами торгово-розважальної та ринкової інфраструктури (будівлі змішаного використання з розміщенням з об'єктів ділового, культурного, обслуговуючого та комерційного призначення) на вул. Клепарівській, 15 у м. Львові, реконструкція цілісного майнового комплексу з надбудовою на вул. Личаківській, 181 у м. Львові, у співпраці з архітектурним бюро «Столяров і партнери»; концепція забудови ділянки в історичній зоні по вул. Золотій у м.

Львові, за адаптивного проектування параметричними методами, у співпраці з архітектурним бюро AVR-Development.

Наукові висновки та результати даної дисертаційної роботи впроваджені у проєкті першої редакції СОУ OEM 08.002.41.032:20XX «Система екологічної сертифікації та маркування згідно з ДСТУ ISO 14024:2018 (ISO 14024:2018, IDT). Громадські будівлі. Екологічні критерії та метод оцінювання життєвого циклу на етапах проектування та будівництва» в розділі «Архітектура та планування», зокрема, підрозділах: 7.1. Якість архітектурних рішень; 7.3. Озеленення будівлі.

Наукові висновки, результати та рекомендації роботи також впроваджені у проєкті «Ізовіст» компанії «Вікторія Парк», для розробки методичної системи та алгоритмічного інструменту для формування функціональної програми громадських закладів в існуючій та проєктованій забудові.

Дослідження впроваджені в освітній процес кафедри архітектурного проектування цивільних будівель і споруд Київського національного університету будівництва і архітектури, зокрема в навчальні програми дисциплін «Концептуальне архітектурне проектування», «Тенденції розвитку архітектури цивільних об'єктів», «Архітектура енергоефективних громадських будівель», «Основи реконструкції житлових і громадських будівель» та «Методи проектування енергоефективних будівель» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 191 «Архітектура та містобудування».

Метою дослідження є розробка методичних рекомендацій щодо формування енергоефективних громадських будівель в умовах історичної забудови на основі розробки алгоритму параметричного моделювання.

В дослідженні розглядаються громадські будівлі з адміністративною функцією.

Завдання дослідження:

- проаналізувати сучасний стан проблеми формування нових енергоефективних громадських будівель у історично складеному середовищі та виявити основні фактори впливу на їх архітектурну організацію;
- визначити та систематизувати містобудівні, кліматичні, функціональні та енергетичні чинники, що впливають на формування нових енергоефективних будівель в межах історично складеного середовища;
- обґрунтувати доцільність застосування параметричного підходу при архітектурній організації нових енергоефективних будівель;
- сформувати теоретико-методичні основи моделювання енергоефективних будівель у історично складеному середовищі на базі взаємопов'язаних параметрів;
- розробити алгоритм параметричного моделювання архітектурних рішень із використанням ітераційних та багатоваріантних підходів;
- визначити способи генерації та відбору архітектурних рішень з енергоефективних будівель з застосуванням параметричного методу;
- запропонувати прийоми реалізації розробленого алгоритму формування нових енергоефективних будівель у історично складеному архітектурному середовищі та оцінити їх відповідність визначеним критеріям.

Об'єкт дослідження - нові громадські будівлі в межах історично складеної забудови.

Предмет дослідження - методичні основи архітектурної організації енергоефективних громадських будівель в умовах історичної забудови.

Межі дослідження – нові громадські будівлі з адміністративною функцією.

Методи дослідження – використовуються:

- загальнонаукові методи —аналіз та узагальнення наукових джерел, системний аналіз, порівняльний аналіз, класифікація та типологізація архітектурних рішень;

- спеціальні методи дослідження - параметричне моделювання, алгоритмізація процесу формування архітектурно-планувальних рішень, обчислювальне (комп'ютерне) моделювання та симуляція, багатоваріантне (генеративне) проєктування, експериментальне проєктування та апробація рішень.

Методами аналізу наукових і нормативних джерел, *порівняльного аналізу* визначено сучасний стан проблеми та виявлено основні містобудівні, кліматичні, функціональні та енергетичні фактори, що впливають на формування енергоефективних будівель у історично сформованому середовищі. *Методами параметричного та обчислювального моделювання*, а також алгоритмізації - сформовано параметричну модель та визначено взаємозв'язки між основними параметрами проєктування.

За допомогою методів класифікації та типологізації - систематизовано об'ємно-просторові та функціонально-планувальні рішення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

Вперше: - розроблено параметричну модель формування архітектурно-планувальних рішень енергоефективних будівель у історично сформованому міському середовищі, що базується на системі взаємопов'язаних містобудівних, кліматичних, функціональних та енергетичних параметрів;

- запропоновано алгоритм формування архітектурних рішень на основі параметричного підходу, що передбачає ітераційне опрацювання варіантів із урахуванням багатокритеріальної оцінки;

- визначено та сформовано структуру багатоцільової оптимізації, що формує основу для автоматизованої оцінки варіантів та складається з двох енергетичних та контекстуальних критеріїв;

- виділено жорсткі (булеві) цільові функції відсіювання рішень, що конфліктують з вимогами збереження автентичності середовища;

- виділено застосування гібридного підходу, що передбачає комбінування булевих фільтрів із багатокритеріальною оцінкою.

Удосконалено: підходи до формування об'ємно-просторових та функціонально-планувальних рішень енергоефективних будівель у історичному середовищі шляхом їх інтеграції в єдину параметрично керовану систему.

Набули подальшого розвитку:

-теоретичні засади формування енергоефективних будівель у історично сформованому середовищі з урахуванням багатofакторного впливу;

-принципи адаптації нової забудови до історичного контексту на основі системного врахування параметрів середовища.

Практичне значення дисертаційного дослідження полягає у можливості використання його в архітектурно-містобудівній діяльності, пов'язаній з будівництвом громадських будівель в історично складеному середовищі; формуванні алгоритму архітектурної організації енергоефективних громадських будівель та параметризації об'ємно-просторових прийомів формування нових громадських будівель. Результати дослідження можуть бути використані у навчальному процесі при підготовці бакалаврів та магістрів.

Висновки даного дослідження можуть бути застосовані у сфері обчислювального дизайну як основа для розроблення параметричних та генеративних алгоритмів формоутворення, що інтегрують просторові, контекстуальні та експлуатаційні характеристики об'єкта в єдину систему. Формалізація об'ємно-просторових методів у вигляді набору змінних, обмежень і цільових функцій створює передумови для створення цифрових інструментів (зокрема на базі Rhino/Grasshopper, BIM-платформ та симуляційних середовищ), які дозволяють автоматизувати процес генерації, аналізу та оптимізації архітектурних рішень в умовах історично складеного середовища.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження отримані автором самостійно, що підтверджується публікаціями за темою роботи (10 наукових праць). Дисертація є самостійним завершеним науковим дослідженням. Сформульовані наукові положення, запропоновані підходи та отримані висновки є результатом власних досліджень

автора у галузі архітектурної організації енергоефективних будівель в історично складеному середовищі.

У науковій публікації, виконаній у співавторстві, автором особисто узагальнено методики дослідження стану енергоефективності історичної забудови, зокрема визначено структуру дослідження, що включає історико-соціальний аналіз, натурні вимірювання та аналітичне моделювання із застосуванням параметричних інструментів [151]. У науковій публікації, виконаній у співавторстві, автором особисто визначено сучасні вимоги до енергоефективної реновації історичних будівель, зокрема систематизовано етапи аналізу їх характеристик, окреслено групи обмежень (контекстуальні, типологічні та проєктні) та обґрунтовано підходи до формування стратегій реновації з урахуванням специфіки історичного середовища [153]. Окрім цього, у науковій публікації автором самостійно досліджено особливості застосування параметричних методів при формуванні енергоефективних будівель в історично складеному середовищі, зокрема розкрито принципи генеративного моделювання, обґрунтовано підхід до параметризації проєктних змінних та формалізації обмежень середовища, а також визначено логіку формування та оцінки множини проєктних рішень.

Апробація результатів дослідження. Ключові положення та результати дослідження апробовано під час участі у 7 наукових конференціях: І міжнародний науково-практичний конгрес «Міське середовище – ХХІ ст. Архітектура. Будівництво. Дизайн», 2018 р.; міжнародна науково-практична конференція «Буд-майстер-клас-2020», 2020 р.; міжнародна науково-практична конференція «Буд-майстер-клас-2022», 2022 р.; XIV Всеукраїнська наукова конференція «Сучасна архітектурна освіта. Архітектура – Дизайн – Мистецтво України: відбудова, реконструкція, реставрація», КНУБА, 2022 р.; XV Всеукраїнська наукова конференція «Сучасна архітектурна освіта. Архітектура – Дизайн – Мистецтво України: відбудова, реконструкція, реставрація», КНУБА, 2023 р.; міжнародна науково-практична конференція «Буд-майстер-клас-2024»,

2024 р.; XV Всеукраїнська наукова конференція «Сучасна архітектурна освіта. Архітектурна творчість і штучний інтелект», 2024 р.

Публікації. Результати дослідження відображено у 10-ти наукових публікаціях, серед яких 3 статті у фахових виданнях України, 6 опублікованих тез доповідей на наукових конференціях, а також 1 публікація, що додатково висвітлює окремі результати дисертаційної роботи.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційне дослідження містить вступ, три розділи, кожен із яких супроводжується висновками, а також узагальнюючі висновки, перелік використаних джерел і додатки. Загальний обсяг роботи становить 255 сторінок, з яких 157 сторінок займає основний текст. Ілюстративний матеріал представлений 39 графічними елементами. Додатки викладено на 248 сторінці, список використаних джерел налічує 194 позицію. Матеріали щодо впровадження результатів дослідження подано на 3-ох сторінках.

РОЗДІЛ І

ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ ІСТОРИЧНОГО АРХІТЕКТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЗАСАДАХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

1.1 Формування передумов розвитку енергоефективності історично складеного архітектурного середовища

Високий рівень споживання енергетичних ресурсів сьогодні є однією з ключових проблем розвитку стійкої та української економіки. Функціонування будівель є причиною близько 40% викидів парникових газів через використання паливних ресурсів [21].

Впровадження архітектурних заходів щодо зниження вартості та економії паливно-енергетичних ресурсів, імплементація прогресивних технологій, підбір рішень щодо інтеграції альтернативних джерел енергії при роботі з історичною забудовою потребують детального аналізу поточного стану енергоефективності споруди. Формування нових енергоефективних громадських будівель здатне вирішити ті проблеми та обмеження, які виникають внаслідок типологічних, конструктивних та естетичних обмежень, пов'язаних з історичною суттю забудови.

Утворення нових енергоефективних будівель в межах історично складеного середовища уможлиблює імплементацію тих чи інших заходів у новоствореній будівлі, які складно застосувати до вже існуючих через ряд конструктивно-технічних обмежень [23].

Оскільки сучасні тенденції розвитку сучасних міст вимагають якомога якіснішого використання території, то відновлення, збереження, реновація стають одними з найважливіших та найперспективніших галузей світового будівництва. Чимала частка існуючого будівельного фонду, на тлі процесів перебудови та зміни технологій, частково або й узагалі не використовується та не піддається покращенню з боку адаптивних характеристик [133]. Саме тому, проблема розвитку забудови, зокрема шляхом формування нових будівель, набуває широкого значення.

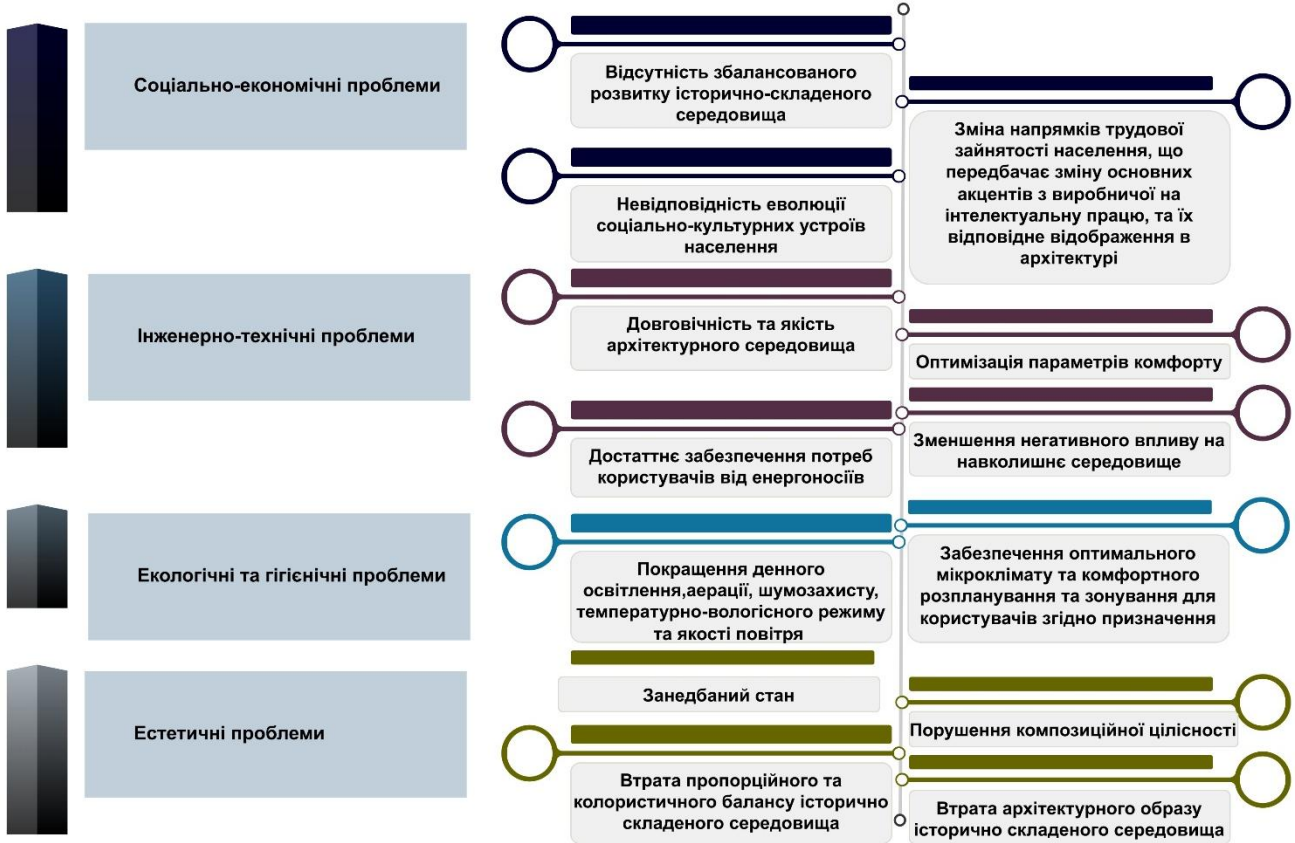
Важливим етапом в удосконаленні структури міста є зміна функціонального призначення існуючої громадської забудови, а також доповнення її новими частинами та елементами, що своїми сучасними технічними якостями, зокрема, здатні доповнити існуючий контекст, та покращити його енергетичні, мікрокліматичні та екологічні властивості. Даний напрямок дослідження є перспективним, оскільки окрім підвищення перспективності історично складеного середовища, відбуваються також процеси, що сприяють захисту історичної спадщини, шляхом включення її в дискурс розвитку громадської забудови. В Україні даний напрямок розвивається непослідовно (рис 1.1), та в основному зосереджується в умовах найкрупніших міст.

Розвиток забудови в Україні пов'язаний з розглядом наступних проблем:

- 1) Соціально-економічні умови: архітектурне середовище повинне розвиватися гармонійно, відповідно до тенденцій змін соціально-культурних структур населення, зокрема згідно напрямків трудової зайнятості;
- 2) Інженерно-технічні: реорганізація міської забудови повинна забезпечувати довговічність та якість архітектурного середовища, останнє - зокрема, згідно розвитку технологій забезпечення процесів життєдіяльності його користувачів. Подібне забезпечення має сприяти оптимізації параметрів комфорту споруд, ефективності енергопостачальних носіїв та вжиття заходів зі зменшення навантаження від споруди на навколишнє середовище;
- 3) Екологічні та санітарно-гігієнічні: безпосередньо пов'язані з інженерно-технічним забезпеченням, полягають в потребі організації якісного та здорового середовища для користувача, зокрема за вжиття заходів з покращення інсоляції, аерації, шумоізоляції, температурно-вологісного режиму тощо;
- 4) Естетичні: занедбаний стан, втрата первісної функціональної значимості, а також активний та часто безладний розвиток навколишньої забудови впливають на естетичні властивості споруд - на тлі хаотичних процесів добудови часто втрачається первісна стилістична та силуетна цілісність.

Проблеми енергоефективного розвитку історичної забудови

Проблеми розвитку історично складеної забудови в Україні



Несистемний підхід в розвитку архітектурного середовища та його наслідки



Сучасна практика розвитку історично складеного архітектурного середовища демонструє фрагментарний характер рішень, у межах якого соціально-економічні, інженерно-технічні, екологічні та естетичні аспекти розглядаються ізольовано.	Такий підхід призводить до конфліктів між вимогами енергоефективності, комфортності користування, економічної доцільності та збереження архітектурної автентичності, унеможливаючи формування цілісної та перспективної стратегії розвитку.
--	---

Рис. 1.1 Проблеми розвитку історично складеної забудови в Україні

Історично складене архітектурне середовище - це архітектурне середовище, що формувалося протягом еволюційних історичних процесів, та поєднує в собі основні архітектурні, культурні та ціннісні особливості як окремих епох, та і їх послідовних нашарувань. Історично складене середовище відрізняється високим рівнем унікальності, та формує пам'ять та ідентичність міста.

Існування та збереження історично складеного середовища характеризується його здатністю до адаптації до змінних соціальних та технічних умов. Сучасні швидкоплинні процеси та їх вимоги часто конфліктують з існуючим темпом розвитку історичного середовища, та швидкістю набуття ним нових якостей – а отже, середовище стає анахронічним, сприйняття та досвід використання простору - погіршуються, призводячи до занепаду й деградації (рис. 1.2)

Серед найбільш поширених проблем розвитку історично складеного архітектурного середовища, можна виділити наступні:

- втрата культурних та історичних цінностей архітектурного осередку через занепад та деградацію елементів середовища, що у свою чергу впливає на розрив зв'язку суспільства з його минулим, та втрати опорного базису, що формує характер і цінності суспільства, а також виділяє його з-поміж інших;

- втрата консенсусу у суспільстві, оскільки деградація та занепад нашарувань історичного середовища призводить до втрати характеру, та основи ідентифікації перш за все людей, які з ним взаємодіють;

- деградація ціннісного базису архітектурного історично складеного середовища призводить до втрати орієнтирів щодо його потенційного розвитку, що у свою чергу призводить до прийняття неякісних та малоефективних рішень, або ж ще більшого занепаду та втрати історичного середовища;

- деградація цінної міської території та загострення з плином часу вже існуючих просторових проблем, що призводить до занепаду уже існуючого функціонального базису та налагоджені зв'язки з іншими частинами міста;

- занепад економічної діяльності історичного середовища та переважна відсутність якісних пропозицій щодо її відновлення [49], що приводить до зменшення потенціалу розвитку через меншу залученість користувачів.

Розвиток історично складеного середовища на засадах нергоефективності, у свою чергу, передбачає стійке забезпечення, базоване на принципах збереження історичної суті та автентичності. Це більш комплексний підхід, оскільки він враховує як енергетичні та економічні, так і культурні та соціальні аспекти. Застосування принципів сталого розвитку в історично складеному середовищі дозволяють отримати перспективний архітектурний осередок, зі зменшеним впливом на навколишнє середовище та зниженими вуглецевими викидами.

Розвиток енергоефективного архітектурного середовища, як один з методів забезпечення стійкості, та пом'якшення змін клімату є одним з ключових аспектів політики ЄС. Відновленню, збереженню та забезпеченню сталого розвитку історичного середовища приділяється значна увага, що зокрема закріплено у відповідних Директивах та європейських нормах. Україна, як чинний кандидат на вступ до Європейського Союзу, повинна змінювати свої законодавчі бази та загальнопоширені будівельні практики на ті, які зокрема відповідають ціннісним орієнтирам, закріпленим в ЄС.

Історично складене середовище володіє значним невикористаним потенціалом щодо енергозбереження. Згідно з дослідженнями, історичні будівлі, зведення яких датується періодом до 1945 року, становлять значну частину будівельного фонду Європи, хоча ця частка варіюється від країни до країни [115]. Зокрема, будівлі зведені до 1945 року, становлять близько 14%, від загального будівельного фонду. У період між 1919 та 1945 рр. було побудовано майже стільки ж будівель, як і в період до 1919 року – а саме, 12% [115]. Сумарно, понад чверть будівельного фонду Європи належить до історично складеної забудови, що датується періодом до 1945 року. З 1945 р. та до початку 1970х років будівельний фонд знову значно розширюється – станом на сьогодні понад 53% будівельного фонду ЄС було зведено до 1971 року [16].

Історичний ареал охоплює історично сформовану частину населеного місця, що зберегла старовинний вигляд, розпланування і характер забудови [130]. Часовий проміжок, протягом якого будівлі можна вважати власне історичними, окреслюється верхньою межею 1945 року.

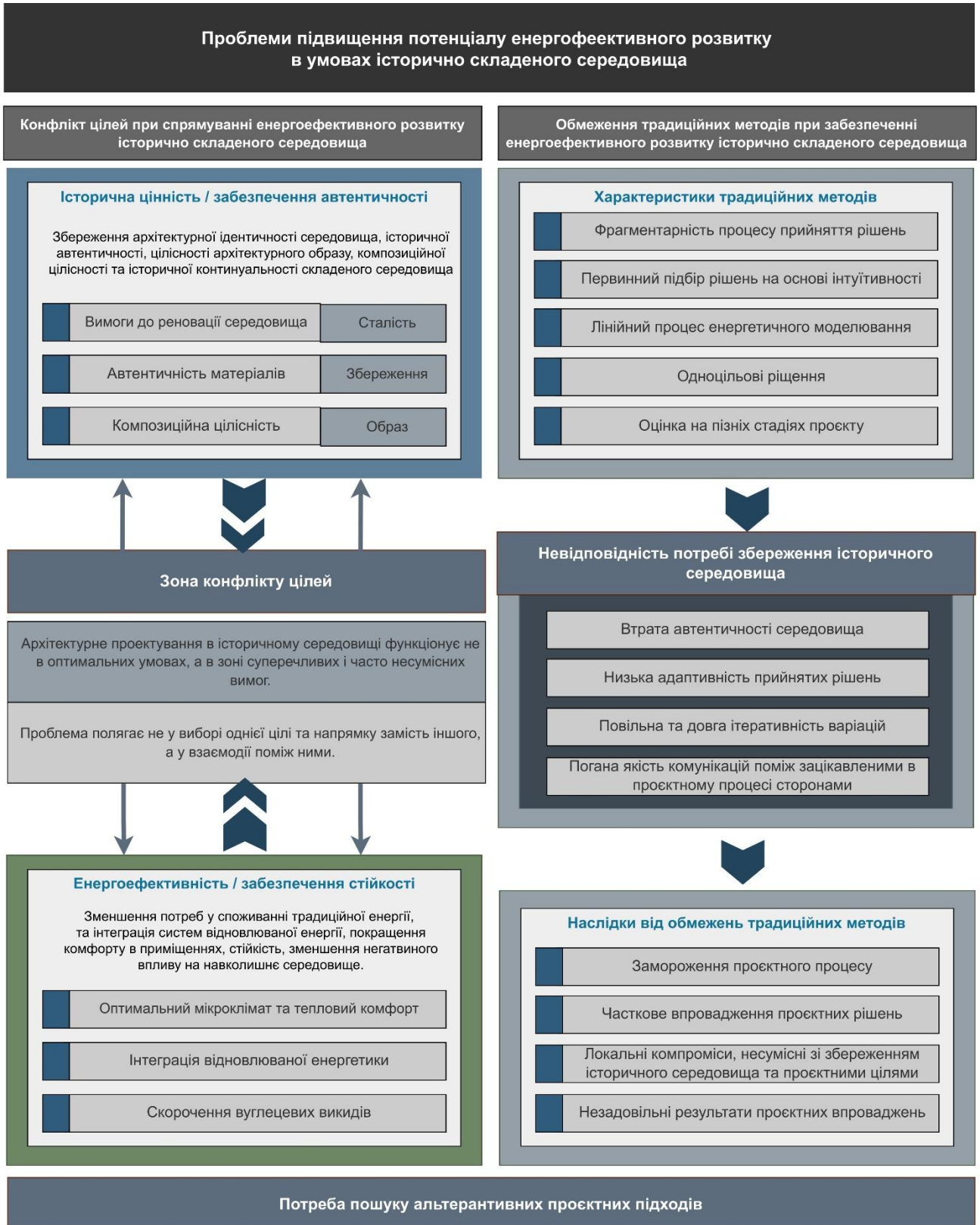


Рис. 1.2 Проблеми підвищення потенціалу енергоефективного розвитку в умовах історично складеного середовища

Хоча частка історичних будівель в Україні (зведених до 1945 року) становить приблизно 18% [91], це значна частина будівельного фонду, яка потребує уваги в контексті збереження культурної спадщини та реновації. Порівняно з деякими західноєвропейськими країнами, ця частка є дещо нижчою, що в основному пов'язано з історичними подіями та особливостями розвитку архітектури в Україні. Значний негативний вплив на еволюцію українського архітектурного середовища, що припадає на модерні часи, мав період радянської влади. В подальшому, хоча історично складене середовище переживає процеси занепаду внаслідок відсутності перспективного розвитку, переважна більшість руйнівних процесів припала на Повномасштабну війну, розпочату у 2022 році (рис 1.3).

Зокрема, згідно даних та звітів МКІП, внаслідок повномасштабної російської агресії, за період з 24 лютого 2022 року по 25 липня 2023 року було пошкоджено або зруйновано 763 об'єкти культурної спадщини. З них об'єктів національного значення - 105, місцевого значення - 595, щойно виявлених - 63. З них пам'ятки архітектури складають 241 об'єкт, архітектури та містобудування - 218, історії - 185, архітектури та історії - 28, монументального мистецтва - 19, містобудування та монументального мистецтва - 17, археології - 18, архітектури, містобудування та історії - 27, містобудування - 5, науки та техніки - 2, садово-паркового мистецтва - 1, архітектури, містобудування та монументального мистецтва - 1, архітектури та монументального мистецтва — 1 [157][169].

Згідно з даними Мінкульту, з початку повномасштабного вторгнення повністю було зруйновано 23 пам'ятки, частково пошкоджено 625 пам'ятки, ступінь пошкодження 115 об'єктів залишається невідомим [57][187].

Враховуючи прискорені темпи руйнації через реалії війни, перед архітектором стоїть важлива місія щодо заходів із збереження того, що ще вціліло [167]. Збереження історично складеного середовища можливе за наявності двох складових:

- 1) Забезпечення перспективного розвитку та відповідності соціально-економічним реаліям сьогодення;

- 2) Забезпечення сталого розвитку середовища як засобу для досягнення енергетичної незалежності.

Сталий розвиток передбачає впровадження в історичне середовище тих заходів та засобів, які не порушуючи архітектурного образу та автентичності, підвищать енергоефективні якості архітектури. Формування нових громадських будівель в межах історично складеного середовища передбачає його розвиток шляхом доповнення стійкими та продуктивними архітектурними включеннями, що більш якісно підвищать характеристики середовища загалом, за рахунок можливостей імплементації ефективних технологій та прийомів в нову архітектуру [48].

Підвищення енергоефективності історично складеного середовища, у свою чергу, передбачає також створення параметричної моделі для фіксації якісних та кількісних змін внаслідок впровадження тих чи інших заходів (рис. 1.4). Моделювання енергетичної продуктивності будівель – це врахування характеристик будівель за допомогою комп'ютерної математичної моделі, створеної на основі фундаментальних фізичних принципів та інженерної практики[54]. В межах даного дисертаційного дослідження слід більш детально розглянути сучасні методики моделювання характеристик енергоефективних будівель – зокрема йдеться про параметричне моделювання та аналітичне обчислення.

Проблема збереження та енергоефективної реінтеграції історично складеного середовища також була предметом дослідження багатьох дослідницьких проєктів. Одним із таких є ZenCult, що тривав з 2010 по 2014 та мав на меті долати розрив поміж збереженням історичного середовища та енергоефективним розвитком. Проєкт зазначав, що енергоефективна реновація є важливою як для покращення комфорту користувачів та зменшення попиту на енергію (з точки зору економічної доцільності і зваженого використання ресурсів), так і для захисту структури і суті історичного середовища [3].

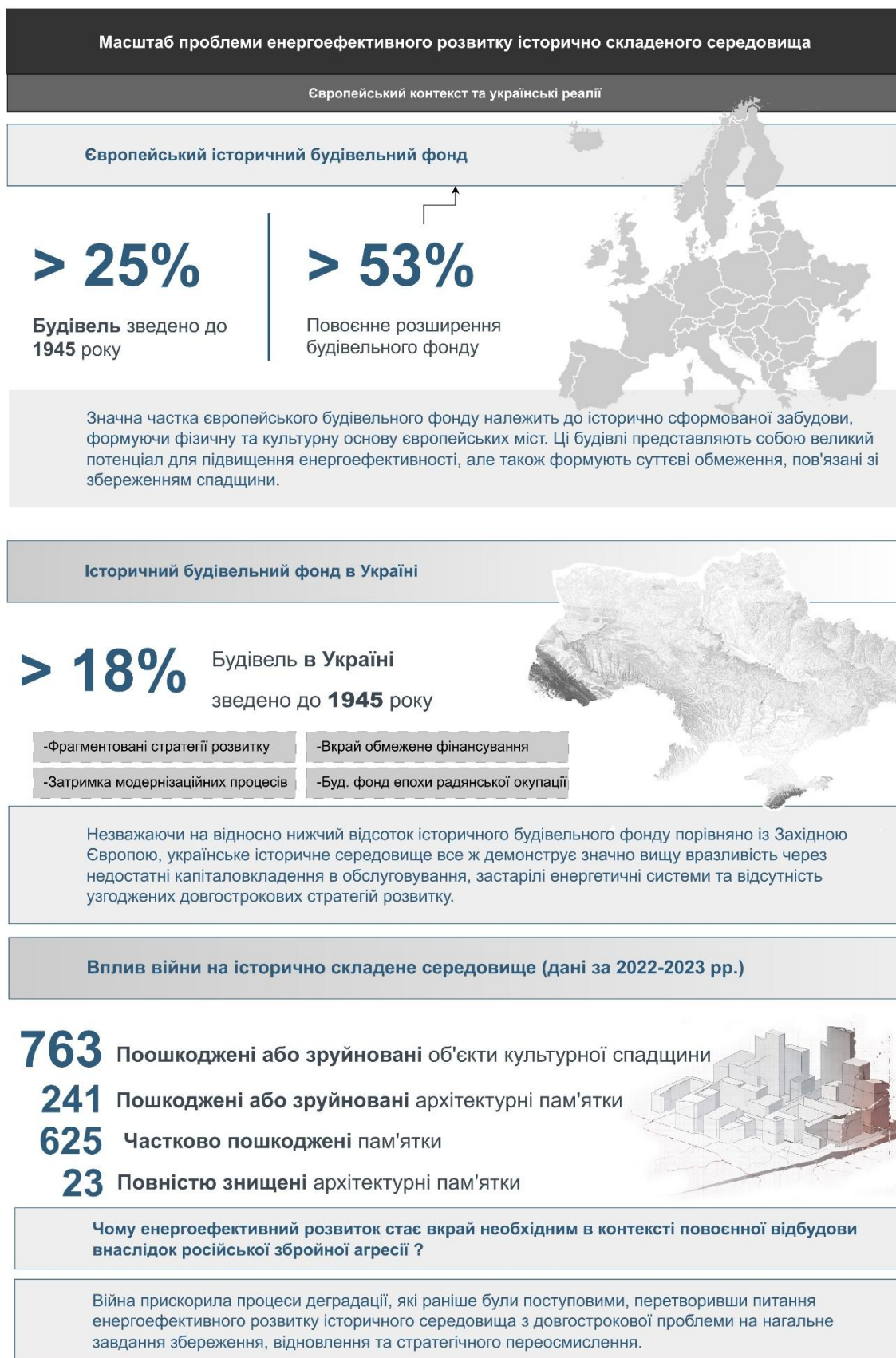


Рис. 1.3 Структура та актуальні виклики енергоефективного розвитку історично складеного будівельного фонду

Проектом було розроблено ряд пасивних і активних рішень для збереження та енергоефективної модернізації історичних будівель. Серед них -визначення інструментів діагностики поточного стану будівлі, довгостроковий моніторинг (також для контролю внутрішнього мікроклімату) і планування, а також інструменти, що підтримують впровадження, забезпечення якості та контроль успішності заходів з енергетичної модернізації [54]. У результаті було опубліковано ряд позиційних документів, які пропонують можливу інтеграцію та/або реалізацію поточної нормативної бази для підвищення енергоефективності історичних будівель у міських районах, зокрема EPBD та Оцінку впливу на навколишнє середовище, а також Ольборзькі зобов'язання та Лейпцизьку хартію [2].

Дослідження потенціалу енергоефективності історичної забудови було метою дослідницького проекту EFFESUS (Energy Efficiency for EU Historic Districts' Sustainability, або ж Енергоефективність для Сталого Розвитку Історичних Районів ЄС). EFFESUS — це консорціум із двадцяти трьох партнерів з тринадцяти європейських країн, що тривав з 2012 по 2016 рік [38]. Проект EFFESUS досліджував енергоефективність та сталість європейських історичних міських районів, а також методи і заходи для їх енергоефективного розвитку, водночас зберігаючи автентичну цілісність [10].

EFFESUS прийняв широке визначення історичної забудови: значна група будівель та споруд, побудованих до 1945 року та репрезентативних для періоду їх будівництва чи історії, які містять будівлі, які не обов'язково захищені законодавством про спадщину [38]. Гранична дата 1945 року не передбачає обмеження, що будівлі, побудовані після 1945 року не можуть вважатися історичними [39].

Більшість поточних розробок у сфері енергоефективної архітектури стосуються нового будівництва, Історичні будівлі через свою специфіку мають певні особливості щодо застосування цих технологій.

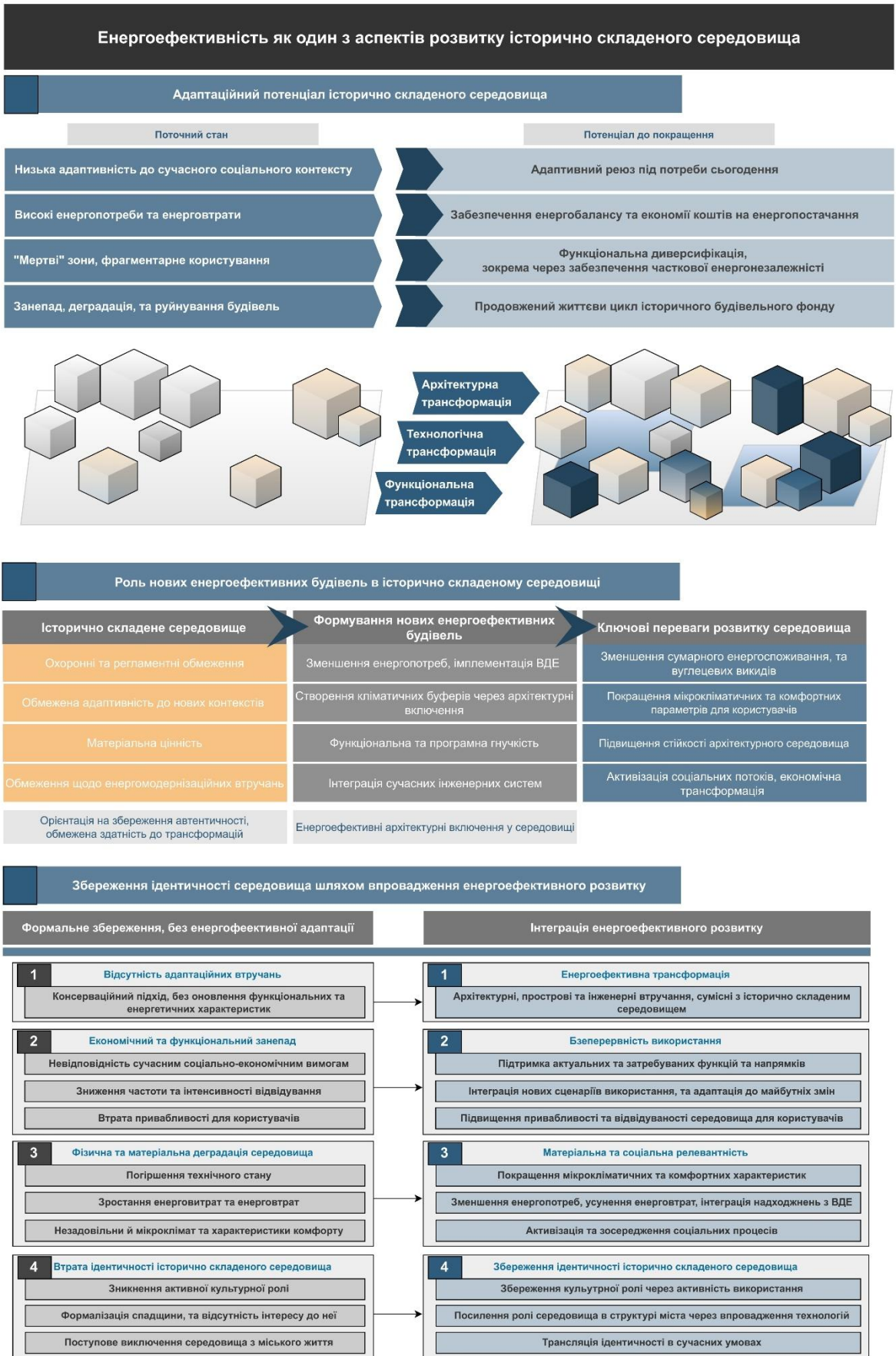


Рис. 1.4 Структура енергоефективної трансформації історично складеного середовища

В умовах сьогодення, на тлі повномасштабного вторгнення та тривалої війни, стратегія України щодо перспективного розвитку історичної забудови має поєднувати принципи сталого розвитку з відновленням національної ідентичності.

Інтеграція у європейський простір шляхом модернізації та впровадження енергоефективного розвитку є основою для впровадження інноваційних перетворень в Україні. Вищевказане закріплено в ЗУ Про Стратегію сталого розвитку України до 2030 року, як стратегічне бачення сталого розвитку України [174]. Україна має власний значний енергопотенціал, проте на жаль, на сьогоднішній день це країна, що лише частково забезпечена власними ресурсами через поширене використання традиційних джерел енергозабезпечення. Україна орієнтується на досвід розвинених країн у цьому питанні, де повсякчасно активно йде переоцінка використання енергоресурсів та перехід на відновлювану енергетику як у новому будівництві, так і під час реновацій та реконструкцій [12].

Україна має шанс зробити міста кращими, аніж вони були до війни, та здійснити в процесі значний технологічний ривок, шляхом енергоефективного розвитку історичної забудови, зберігши при тім національну самобутність архітектури. У 2022 році Національна спілка архітекторів України спільно з асоціацією архітекторів Данії почали працювати над проектом «Демократичної відбудови України», що має на меті перегляд чинних засад будівництва у процесі перебудови економічно нестабільних внаслідок війни міст.

У всьому світі в історичному середовищі впроваджують програми енергоефективної модернізації, аби не тільки відповідати сьогоднішнім критеріям якості внутрішнього й зовнішнього середовища, але й ефективно використовувати енергоресурси для забезпечення рентабельності будівель, що є особливо актуально для нашої країни, оскільки більшість історичних будівель перебувають під державним фінансуванням.

1.2 Аналіз теоретичних напрацювань з енергоефективної модернізації історично складеного архітектурного середовища

Вимоги до характеристик енергоефективності будівель зростають, що пов'язано з проявом існуючих кліматичних змін, а також політичних, економічних та екологічних аспектів. Ці вимоги зокрема враховані у цілях сталого розвитку ООН, виконання яких в Європейському Союзі ратифіковано у низці документів - зокрема у Директивах про енергоефективність - зокрема, у директиві 2010/31/EU [31], що зосереджена на енергетичних характеристиках будівлі, та директиві 2018/844/EU, що вносить поправки у директиву 2012/27/EU [33], що регламентує інструменти для сприяння енергоефективності, та європейських нормах, як-от EN 16883, EN 15758, EN 16242, EN 15251 та ін. Серед іншого, вищезазначені документи також вимагають від країн членів-ЄС покращити енергоефективні характеристики існуючого будівельного фонду [33].

Потенціал щодо покращення характеристик енергоефективності присутній також у фонді історично складених будівель. Однак деякі будівлі, що вважаються такими, та володіють винятковою цінністю, згідно європейського законодавства можуть бути звільнені від виконання вимог щодо підвищення енергоефективності, якщо «виконання цих вимог істотно та неоправдано змінювало б їх зовнішній вигляд або характер», як йдеться наприклад у вищезгаданій Директиві 2010/31/EU [32] [33].

EN 16883:2017 [34] встановлює принципи інтеграції заходів підвищення енергоефективності в будівлі з історичною або культурною цінністю.

EN 15758:2010 [42] регламентує методику визначення енергетичних характеристик історичних будівель.

EN 16242:2012 [43] визначає методи збору даних про фактичне споживання енергії в будівлях та їх системах.

EN 16798-1:2019 [44] встановлює критерії для визначення комфортних умов у приміщеннях з урахуванням температурного, повітряного та світлового режимів, що актуально для громадських будівель з адміністративною функцією.

Серед сучасних інструментів підвищення енергоефективності будівель особливе місце займають стандарти, що регламентують методики обчислення енергетичних характеристик споруд та їх споживання енергії. До таких нормативів належать EN 15603, EN 52016-1 та EN 15217, які формують основу для енергетичного моделювання будівель і дозволяють комплексно оцінювати їх ефективність з урахуванням кліматичних, конструктивних та функціональних параметрів.

SIST EN ISO 52000-1:2018 [106] визначає загальні принципи оцінки енергетичної продуктивності будівель, включно з методологією розрахунку загального споживання первинної енергії та балансу енергетичних потоків.

EN 52016-1:2017 [66] деталізує процедури розрахунку споживання енергії для опалення та охолодження.

CEN ISO/TR 52003-2:2017. [21] встановлює принципи розрахунку показників енергоефективності та складання сертифікатів енергетичного споживання (Energy Performance Certificate, EPC).

Вимоги до енергоефективних характеристик будівель в Україні, як і в Європейському Союзі, поступово зростають у відповідь на кліматичні зміни, економічні виклики та необхідність інтеграції до європейського нормативного поля. Ключовим документом в Україні є Закон «Про енергетичну ефективність будівель» (2017, чинна редакція 2021) [145], що визначає обов'язковість проведення сертифікації енергетичної ефективності для нових об'єктів, а також інтегрує положення Директиви 2010/31/ЄС у національне правове поле.

Базові принципи енергозбереження закладені у Законі України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [146]. У поєднанні із Розпорядженням Кабінету Міністрів України «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року» № 1803-р (2021) [177], вони забезпечують взаємозв'язок енергетичної політики з екологічними цілями сталого розвитку, включно зі скороченням викидів парникових газів та переходом до низьковуглецевої економіки.

Особливе значення має Закон України «Про охорону культурної спадщини» (2000) [172], що визначає правові рамки застосуванні енергетичних вимог для об'єктів культурної спадщини.

На рівні підзаконних актів базовим є Порядок проведення сертифікації енергетичної ефективності, затверджений Наказом Мінрегіону № 172 від 11.07.2018 [170], що детально регламентує процедуру збору даних про будівлі, встановлює форму Енергетичного сертифіката та вимоги до його складання. Окрім цього, професійна сертифікація фахівців у цій галузі наразі регулюється Постановою КМУ № 40 від 16.01.2024 [171]. Додатково Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель (затверджені Наказом Мінрегіону № 274 від 27.10.2020) чітко визначають технічні показники для нових об'єктів.

Закон України «Про Стратегію сталого розвитку України до 2030го року містить національні цілі сталого розвитку, що оформлені в 7 стратегічних цілей, та мають на меті сприяти зростанню інфраструктури, забезпеченню сталого та регіонального розвитку, перехід до моделей збалансованого споживання та виробництва, збереження екосистем та ін.[174].

Важливою технічною основою виступають державні будівельні норми, що безпосередньо регламентують вимоги до енергоефективності.

ДБН В.2.2-9-2018 «Громадські будинки та споруди. Основні положення» [136] визначає загальні принципи проектування нових і реконструкції існуючих громадських споруд, та встановлює критерії до функціонально-планувальних, конструктивних і експлуатаційних характеристик.

ДБН В.1.2-11:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність» [135] визначає вимоги до забезпечення енергоефективності будівель, раціонального використання енергетичних ресурсів і зниження енергоспоживання.

ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» [138] визначає технічні параметри із забезпечення енергетичної ефективності будівель, зменшення споживання енергії у будівлях відповідно до Закону України “Про енергетичну ефективність будівель”.

ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [137] визначає параметри мікроклімату та інженерних систем, від яких безпосередньо залежить енергоспоживання будівлі.

Наукові дослідження за тематикою підвищення енергоефективності історично складеного середовища зосереджуються на пошуку методичних підходів до інтеграції енергоефективних технологій у структуру історичного середовища, забезпечуючи при цьому збереження автентичності та цілісності архітектурного образу.

Проблема реновації архітектурної спадщини порушена в роботах професора Богуслава Шмигіна, члена польського комітету охорони спадщини ICOMOS, що досліджує питання адаптації історичних об'єктів до потреб сьогодення. Шмигін підкреслює важливість поєднання традиційних методів реставрації та реновації з інноваційними рішеннями [37][68][109-110].

За участю професора Шмигіна реалізовано проєкт «Zero Energy Buildings for Zero Energy Neighbourhoods» (ZEB4ZEN) [122], в рамках якого досліджуються методи підвищення енергоефективності історичних центрів міст Замосця, Карловаца та Пальманови. Окрім того, професор Шмигін координував проєкт «RUINS», спрямований на розробку транснаціональної моделі сталого захисту та консервації історичної спадщини - зокрема історичних руїн [37][108].

В Україні, проблеми історичного архітектурного середовища вивчали Куцевич В.В. [158], Бевз М.М. [128], Брідня Л.Ю. [129], Слепцов О.С. [180], Товбич В.В. [181], Лещенко Н.А. [161], Коротун І.В. [156], Проскуряков В.І. [175], Ідак Ю.В. [64], Меженна Н.Ю. [124], Шебек Н.М. [182], Чепелик В.В. [186], Габрель М.М. [144], Рибчинський О.В. [176], Дубик Ю.Я. та інші.

У дисертаційному дослідженні Н.А. Лещенко «Методологічні основи реставраційно-реконструктивних трансформацій історичних центрів малих міст» [161] введено поняття «реставраційно-реконструктивної трансформації» (PPT) як цілісного процесу взаємопов'язаних змін в історично складеному середовищі, а також принцип «кумулятивного розвитку», що базується на взаємодії поміж місцем, людиною та традиціями; розроблено методику оцінки

ступеня деструкції історичного середовища, а також критерії мультикомфортності та контекстуальності для нової забудови.

У статті Товбича В.В. «Засоби та методи 3D сканування для створення фантомних моделей архітектурних об'єктів» [181] розглянуто сучасні цифрові методи фіксації та збереження історичної забудови із застосуванням лазерного сканування, фотограмметрії та BIM/GIS-технологій.

У дисертаційному дослідженні І.В. Коротун «Архітектурно-містобудівні основи формування буферної зони для об'єктів всесвітньої спадщини ЮНЕСКО» [154] розроблено теоретико-методологічні підходи до організації територій, що забезпечують збереження цінності історичного середовища та регулювання впливу нової забудови на об'єкти культурної спадщини.

У публікації І.В. Коротун «Архітектурні принципи формування території буферних зон об'єктів Всесвітньої культурної спадщини ЮНЕСКО» [155] визначено основні принципи організації буферних зон, зокрема щодо просторової структури, масштабності, функціонального наповнення, що спрямовані на збереження історико-культурної цінності об'єктів.

М.Р. Ясінський у своїй дисертаційній роботі «Відтворення кварталів житлової забудови центральних частин малих українських міст» (2018) [194] розробляє структурно-функціональну модель відтворення забудови кварталів з урахуванням історичних архітектурно-містобудівних особливостей та сучасних вимог до проектування. М.Р. Ясінський також є автором низки статей, в яких розглядає зокрема сучасні тенденції та процеси трансформації архітектурно-містобудівної структури історичних міст, а також методи локалізації меж центральної частини міста[93].

Науковий доробок Кащенко Т.О. охоплює понад 70 публікацій присвячених проблемам енергоефективності в архітектурі та будівництві, зокрема, у дисертаційному дослідженні «Підвищення енергоефективності житлових будинків на основі оптимізації форми»[149] розглянуто вплив архітектурно-просторових характеристик будівель на рівень їх енергоспоживання та обґрунтовано можливості підвищення енергоефективності житлових будинків

шляхом оптимізації їх об'ємно-планувальних і формоутворювальних параметрів. У статті «Передумови формування архітектурного енергоефективного середовища» [148] розглянуто теоретичні основи формування енергоефективного архітектурного середовища як складної системи, базованої на основі оптимізації використання енергетичних ресурсів. У статті «Структура наукового простору проблеми енергоефективного архітектурного середовища» [150] розглянуто еволюцію наукових підходів до формування енергоефективного архітектурного середовища, та проаналізовано наукову базу дослідження енергоефективності архітектурного середовища, підкреслено важливість застосування міждисциплінарного підходу.

Науковий доробок Л.О. Шулдан зосереджений на дослідженні енергоефективності в архітектурі. У дисертаційному дослідженні «Принципи архітектурно-типологічного вдосконалення шкільних будівель з врахуванням енергозаощаджування» розглянуто можливості підвищення енергоефективності навчальних будівель шляхом удосконалення їх архітектурно-планувальної та типологічної організації [192]. У статті «Improving the energy efficiency of architectural solutions in context of climate change scenarios» [102] проаналізовано тенденції кліматичних змін та їх вплив на впровадження архітектурних рішень. У статті «Key principles of solar photovoltaics integration in the buildings of architectural heritage» [103] розглядаються принципи інтеграції фотовольтаїчних елементів в історичні будівлі. У роботі «Simulation modelling development in design of energy efficiency improvement of architectural solutions» [104] розглядаються інструменти симуляційного моделювання для дослідження термодинамічний процесів та геометрично-орієнтовану логіку продуктивності.

Дисертація К.С. Данько, на тему «Методичні основи архітектурно-планувальної організації енергоефективних багатоквартирних житлових будинків» [134] присвячена розробці методичних засад формування енергоефективного житла в умовах сформованого міського контексту.

О. В. Сергейчук у дисертаційному дослідженні «Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних споруд» [178]

розробив методи поляризаційно-оптичного та інтерполяційного аналізу напружено-деформаційних характеристик фасадних елементів, що дозволяє оптимізувати об'ємно-просторові характеристики споруд для мінімізації тепловтрат.

Г.Г. Фаренюк, у статті «Реалізація параметричного методу у сучасних нормах з енергоефективності будівель» [183] досліджує застосування аспектів параметричного дизайну, обґрунтовуючи впровадження інноваційних алгоритмів розрахунку теплового балансу споруд.

Науковий доробок Мартинова В.Л. стосується дослідження геометричних параметрів будівель на їх енергоефективність. У кандидатській дисертації «Моделювання надходження сонячної радіації на гранні поверхні архітектурних об'єктів» [163] розроблено методи визначення надходження прямої, розсіяної та відбитої сонячної радіації на поверхні архітектурних об'єктів, а у докторській дисертації «Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми» [164] досліджено закономірності формування геометрії будівель з урахуванням теплоенергетичних процесів. У статті В.Л. Мартинова та Т.Л. Чирви «Оптимізація орієнтації енергоефективних будівель, що обертаються» [165] запропоновано новий метод просторового розташування фасетованих (гранчастих) будівель із метою мінімізації їх теплового балансу протягом опалювального періоду.

Наукові дослідження О.В. Левченка пов'язані із застосуванням цифрових технологій, у дисертаційній роботі «Методичні основи оптимізації функціонально-територіальної структури сільськогосподарського адміністративного району» [159] розглянуто інформаційні технології, як засоби оптимізації просторової організації територіальних систем.

У публікації О.В. Левченка, А.В. Михайленко та А.З. Череватого «ВІМ як інструмент відновлення України» [160] розглянуто можливості застосування ВІМ-технологій для управління життєвим циклом будівель.

Наукові дослідження О.О. Фоменко пов'язані із впровадженням інноваційних підходів у архітектурно-містобудівне проєктування. У

дисертаційному дослідженні О.О. Фоменко «Методологія аналізу та оцінка естетичної якості морфологічних властивостей архітектурних об'єктів» [184] розроблено підходи до оцінювання архітектурної форми на основі системного аналізу її морфологічних параметрів.

У публікації О.О. Фоменко «Innovative tools for implementing the smart city concept in architectural urbanism» [70] досліджено використання цифрового моделювання, інтегрованих інформаційних систем та аналітичних підходів для підвищення ефективності функціонування міського середовища.

У дисертаційній роботі В.С. Буравченка «Геометричні методи регулювання інсоляційного режиму житлових будинків» [131] розроблено підходи до врахування параметрів сонячної радіації при формуванні архітектурно-планувальних рішень. В роботі «Аналіз підвищення енергоефективності на основі розрахункових досліджень моделей малоповерхових будинків» [132] проведено серію теплотехнічних розрахунків, виокремивши критичні ділянки конструкцій для подальшого удосконалення теплоізоляційних рішень.

У статті Ю.С. Чернюк та О.А. Костюченко «Реновація модерністської архітектури. Невизнана спадщина» [188] окреслено комплексний підхід до реновації будівель, у якому обґрунтовано застосування тонкошарових термоізоляційних систем та інтегрованих фотоелектричних модулів, із збереженням первісного архітектурного образу будівель.

Наукові дослідження В.В. Моргул присвячені питанням формування енергоефективної архітектури житлових будівель. У дисертаційній роботі «Архітектурно-планувальні принципи формування енергоефективних житлових будинків» [166] обґрунтовано принципи архітектурної організації житлових будівель, спрямовані на зниження енергоспоживання та підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів.

У статті Д.В. Намчука та В.С. Довбенка «Regulatory and Legal Conceptualization of Energy Efficiency of Buildings» [87] було здійснено комплексний аналіз нормативно-правових засад енергоефективності будівель в Україні, простежено трансформацію понятійного апарату від

«енергозбереження» до «енергоефективності», та обґрунтовано роль європейських директив і національних законодавчих механізмів у формуванні системи термомодернізації будівель.

У дисертаційній роботі Д.А. Чижмак «Принципи архітектурно-планувальної організації екологічних висотних адміністративних будівель» [189] розглянуто підходи до формування об'ємно-просторових і планувальних рішень висотних будівель із урахуванням екологічних та енергоефективних вимог. У публікації Д.А. Чижмак «Прийоми архітектурно-планувальної організації екологічно-збалансованих висотних громадських будинків» [190] обґрунтовано доцільність синергії пасивних прийомів (біокліматичний аналіз, фасетне прорізування тощо) та активних технологій (BMS-системи, інтелектуальні вентиляційні установки) для досягнення зниження тепловтрат і загального енергоспоживання будівель до 30% порівняно із стандартними формами та інженерними системами аналогічного класу споруд.

У дисертаційному дослідженні Бахтіна Д.С. «Принципи формування об'ємно-просторової організації енергоефективних громадських будівель» [127] сформульовано принципи об'ємно-просторових рішень енергоефективних громадських будівель, та запропоновано їх класифікацію відповідно до вибору поновлюваних джерел енергії.

Серед іноземних науковців, окрім окремих напрацювань авторів та авторських колективів, на тематику енергоефективної реновації історично складеного середовища, також проводяться окремі дослідницькі проекти.

Наприклад, результатом роботи дослідницького проекту ZenCult у співпраці з приватним дослідницьким центром Eurac Research було опубліковано довідник по енергоефективній рішеннях для історичних будівель («Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings – A Handbook») [116]. У ньому викладено типову послідовність проекту реконструкції від аналізу перед втручанням, загальних вказівок щодо планування до більш детального опису технічних рішень. [3].

Одним з керівників проекту ZenCult є професор Александра Трой, котра також є одним з ключових дослідників енергоефективної реновації історично

складеного середовища. Зокрема, в роботі «Energy Consumption and Indoor Comfort in Historic Refurbished and Non-refurbished Buildings in South Tyrol: An Open Database» [97] представлено напрацювання бази даних, де порівнюються енергоспоживання та параметри комфорту у ренованих та неренованих історичних будівлях Південного Тиролю.

В рамках проєкту інституту Eurac research «BIPV meets history» [14] було сформульовано критерії сумісності для інтеграції PV у складене історичне середовище. В подальшому, у статті «Application of the Guidelines for the Integration of Photovoltaics in Historic Buildings and Landscapes to Evaluate the Best Practices of the Historic Building Energy Retrofit Atlas» [30] досліджено застосування попередньо розроблених рекомендацій щодо інтеграції фотовольтаїчних систем у складене історичне середовище.

У роботі Дагмар Екснер, у співавторстві з науковцями інституту EURAC Research, «Conservation Compatible Energy Retrofit Technologies: Part II — Documentation and Assessment of Conventional and Innovative Solutions for Conservation and Thermal Enhancement of Window Systems in Historic Buildings» [24], опублікованій в рамках проєкту IEA SHC Task 59 [65], проаналізовано методи заміни та модернізації зовнішніх огорожуючих конструкцій в історичних будівлях, та розроблено технічні рекомендації щодо збереження автентичності фасадів при впровадженні сучасних енергоефективних рішень.

У статті Алессі Будди, Александра Різера та ін., «Conservation-Compatible Retrofit Solutions in Historic Buildings: An Integrated Approach» [19] враховано аспект соціотехнічних бар'єрів при енергоефективній реновації історично складеного середовища, та проаналізовано рішення, сумісні з вимогами збереження історичних будівель, відповідно до стандарту EN 16883:2017.

У статті Дагмар Екснер, Александри Трой, Франчески Хаас та ін., «A tool for multidisciplinary development of energy efficiency solutions for historic buildings: the Raumbuch concept extended to energy aspects» [49], проаналізовано систематичний та мультидисциплінарний підхід до документації та оцінки об'єктів для енергоефективної реновації.

У статті Даріо Боттіно-Леоне, Марко Лархера, Франчіски Хаас та ін., «Evaluation of natural-based internal insulation systems in historic buildings through a holistic approach» [17] описано застосування технологій гігротермічного моделювання, енергетичної оцінки та аналізу життєвого циклу матеріалів.

Соціокультурні аспекти енергетичної модернізації історично складеного середовища та їх матеріальне значення і історичні цінності досліджено у статті Джессіки Балест, Елени Луччі та ін., «Materiality, meanings, and competences for historic rural buildings: a social practice approach for engaging local communities in energy transition» [11].

У статті Вікторії Шугар, Мічіхіро Кіта та Жофії Балло, «Energetic retrofit of historical downtown buildings: Cost effectiveness and financing options» [13] проведено порівняльний аналіз сценаріїв енергетичної модернізації: із збереженням оригінальної структури та систем опалення; із збереженням структури із частковою модернізацією оригінальних систем; із мінімально інвазивною модернізацією із застосуванням теплового насоса, та порівняно відсотковість економії енергії та період окупності впроваджених рішень.

Параметричну модель для оцінки сценаріїв енергетичної модернізації та аналізу впливу різних комбінацій енергоефективних заходів, із врахуванням специфіки історично складеного середовища м. Амстердам, представлено у роботі М. Данг, Е. ван ден Доббелстен та П. Воскюлен, «A Parametric Modelling Approach for Energy Retrofitting Heritage Buildings: The Case of Amsterdam City Centre» [26], де зокрема застосовано плагін для енергетичної симуляції Ladybug, на базі Rhinoceros 3D та Grasshopper.

Застосування Rhinoceros, Grasshopper та Ladybug для оцінки інтегрованих в будівельну оболонку фотоелектричних систем при модернізації офісних будівель представлено у дослідженні Х. Кронембергер, Р. Соарез та ін., «Modeling and assessing BIPV envelopes using parametric Rhinoceros plugins Grasshopper and Ladybug» [51].

Аналіз теоретичної джерельної бази			
1. Законодавчі та нормативні засади енергофеективності	Європейські документи	Українське законодавство	ДБН
	<ul style="list-style-type: none"> – Directive 2010/31/EU – Directive 2018/844/EU – EN 16883:2017 – EN 15758:2009 – EN 16242:2012 – EN 15251:2007 – EN 15603:2017 – EN 52016-1:2017 – EN 15217:2007 	<ul style="list-style-type: none"> – Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» – Закон України «Про енергозбереження» – Закон України «Про охорону культурної спадщини» – Стратегія сталого розвитку України до 2030 	<ul style="list-style-type: none"> – ДБН В.2.6-31:2021 – ДБН В.2.5-67:2013 – ДБН В.1.2-7-2008
2. Теорія збереження та трансформації історично складеного середовища	Міжнародні дослідники	Українські дослідники	
	<ul style="list-style-type: none"> – J. Jokilehto – F. Bandarin – A. Riegl – B. Feilden – B. Szmygin – C. Brandi 	<ul style="list-style-type: none"> – Лещенко Н.А. – Коротун І.В. – Бевз М.М. – Ясинський М.Р. – Осиченко Г.О. – Бридня Л. Ю. – Вечерський В.В. – Прибєга Л.В. 	
3. Архітектурно-розпланувальні та типологічні дослідження	Дослідники		
	<ul style="list-style-type: none"> – Куцевич В.В. – Меженна Н.Ю. – Чепелик В.В. – Слепцов О.С. – Шебек Н.М. – Рибчинський О.В. – Проскуряков В.І. – Габрель М.М. – Дубик Ю.Я. – Ідак Ю. 		
4. Енергоефективність в архітектурі	Українські дослідники		Міжнародні дослідники
	<ul style="list-style-type: none"> – Кащенко Т.О. – Данько К.С. – Штендера А.Ю., – Шулдан Л.О. – Довбенко В.С. – Бахтін Д.С. – Фоменко О.О. – Чижмак Д.А. – Аль-Ахмадді С.А., 		<ul style="list-style-type: none"> – Budda A. – Santamouris M. – Leijonhufvud G. – Kolokotsa D. – Brostrom T.
5. Інженерно-фізичні та геометричні основи	Дослідники		
	<ul style="list-style-type: none"> – Сергейчук О.В. – Мартинів В.Л. – Буравченко В.С. – Левченко О. В. 		
6. Параметричні та алгоритмічні методи	Дослідники		
	<ul style="list-style-type: none"> – Dang M. – Shih S.-G. – Alexakis H. – Kronemberger H. – Cruz C. – Benekis A. – Giliarielli E. – Caldas L. – Benekis A. – Chan C.-M. – Mendes N. 		
7. Міжнародні дослідження та проєкти	Дослідники		Проєкти
	<ul style="list-style-type: none"> – A. Troi – D. Bottino-Leone – M. Larcher – D. Exner – F. Haas 		<ul style="list-style-type: none"> – 3enCult – RUINS – ZEB4ZEN – BIPV meets history – IEA SHC Task 59
8. Енергоефективна сертифікація	Системи оцінки		
	<ul style="list-style-type: none"> – LEED – BREEAM – DGNB – Active House – Green Star – LBC 		
9. Міждисциплінарні підходи та сучасні концепції	Ініціативи та концепції		
	<ul style="list-style-type: none"> – New European Bauhaus (NEB) – European Green Deal 		

Рис. 1.5 Аналіз теоретичних напрацювань

Проблеми інтеграції інформаційного моделювання будівель (BIM) із симуляцією енергетичних характеристик будівель (BPS) у контексті збереження історичного архітектурного середовища представлено в роботі Е. Джильяреллі та Ф. Кальчерано, «From Heritage BIM to BPS: A Computational Design-Based Interoperability Approach» [52]. Запропонований в роботі підхід базується на інструментах обчислювального дизайну (Computational design, CD).

У статті "A Hybrid Approach of Dynamic Programming and Genetic Algorithm for Multi-criteria Optimization on Sustainable Architecture Design" [22], авторства Чан та Ших, пропонується підхід до генеративного моделювання в контексті енергоефективного проектування, організований у вигляді триетапного процесу, де динамічне програмування забезпечує логіку переходів між етапами, а генетичний алгоритм - локальну оптимізацію підкритеріїв на кожному з них.

У статті "Multi-objective optimization based on surrogate models for sustainable building design: A systematic literature review" [25] авторства Круз, Калдас, Мендес та Мендес представлено ґрунтовний аналіз сучасних методик генеративного та моделювального проектування, спрямованих на енергоефективну модернізацію споруд із застосуванням сурогат-моделей. Автори проводять систематичний огляд 54 досліджень, демонструючи, що традиційні симуляційні процеси (EnergyPlus, CFD) є надмірно ресурсоемними. Натомість, пропонується використання сурогат-моделей, здатних достатньо точно прогнозувати ключові показники, що суттєво прискорює пошук архітектурних варіантів, а також послідовність у застосування методологічних програм - від формування бази даних варіантів, через тренування моделей, до багатокритеріальної оптимізації для виявлення парето-фронтів рішення.

У статті "Genetic algorithm-based multi-objective optimisation for energy-efficient building retrofitting: A systematic review" [8] авторства Алексакіса, Бенекіса, Коккінакоса та Аскуніса представлено аналіз параметричного підходу, в якому поєднуються генетичні алгоритми з багатокритеріальною оптимізацією, проаналізовано зростаючу роль впливу факторів життєвого циклу будівлі в

генеративних методах, зокрема для оцінки використання первинної енергії, а також довгострокових екологічних наслідків.

Одним із практичних інноваційних інструментів є системи сертифікації або рейтингові системи для оцінки показників об'єкту на етапах проєктування, будівництва та експлуатації. Це оцінка рівня відповідності об'єкта певним стандартам, які дають змогу йому офіційно бути «об'єктом» зеленого будівництва, сертифікованим за однією з існуючих систем. До того ж, рівень сертифіката, який видається, залежить від багатьох факторів, таких як якість внутрішнього середовища приміщень, технології та інновації, які використовуються під час будівництва, матеріали та інше. Градація сертифікатів дає змогу зіставляти та класифікувати будівлі за рівнем енергоефективності та екологічної безпеки [140].

Найпоширенішими є сертифікації LEED, BREEAM, DGNB, Active House, Green Star, LBC, Green Mark тощо. Слід також зазначити, що кожна з зазначених систем сертифікації має свій мануал з порядком оцінювання тих чи інших критеріїв енергоефективності, відповідно до факторів релевантності. Якщо застосувати метод індукції з окремих критеріїв оцінки даних систем – виокремлюються засади енергоефективної реновації, оскільки кожен критерій базується на детально описаній методиці оцінки.

Зростання вимог до енергоефективності сучасних будівель нерозривно пов'язане з формуванням нових міждисциплінарних підходів, які інтегрують архітектурні, екологічні, соціальні та культурні чинники у єдину методологічну платформу. Однією з провідних європейських ініціатив у цьому напрямку стала програма «Новий європейський Баухауз» (NEB) [88], започаткована Європейською комісією у 2020 році, що поєднує принципи сталого розвитку, розвитку енергоефективних будівель та підвищення якості архітектурного середовища з цінностями естетики, інклюзії та збереження культурної спадщини [NEB, 2021]. Ініціатива позиціонується як культурно-просторовий вимір «Європейського зеленого курсу» (European Green Deal).

Наукові дослідження у межах NEB зосереджуються на методології «human-centered design» ("людино-орієнтованого дизайну"), що передбачає розгляд будівлі як складної системи взаємодії людини, простору та енергетичних процесів. Окремим напрямком наукових і практичних розробок у межах NEB є підвищення енергоефективного потенціалу громадських просторів через інтеграцію відновлюваних джерел енергії (сонячних панелей, геотермальних систем, вітрових турбін малої потужності), систем рекуперації тепла, а також «розумних» систем моніторингу та управління мікрокліматом.

Попри відсутність у програмі NEB прямої згадки про параметризацію, її реалізація фактично стимулює інтеграцію цифрових інструментів, що дозволяють формалізувати багатофакторні залежності у проєктуванні. Використання параметричних методів, зокрема алгоритмічного моделювання в середовищах Grasshopper чи BIM-технологій, забезпечує можливість одночасного врахування енергетичних характеристик, показників мікроклімату, сценаріїв експлуатаційної гнучкості та культурно-історичного контексту. У цьому сенсі параметризація постає не лише методикою, а й системним інструментом реалізації засад NEB, оскільки дозволяє комплексно інтегрувати соціокультурні, енергоефективні та функціонально-планувальні чинники в єдиній архітектурній структурі.

1.3 Досвід проєктування х енергоефективних будівель та підвищення енергоефективності в історично складеному архітектурному середовищі

Сучасні тенденції розвитку міст включають важливість врахування історичної забудови при запровадженні стратегії сталого розвитку, невід'ємною частиною якої є підвищення енергоефективності.

Практичне впровадження енергоефективних будівель та споруд в історично сформоване середовище умовно можна поділити на два основні типи:

-реконструкція та репрофілізація уже існуючих будівель та споруд, тобто адаптація існуючої забудови у нові та енергоефективні осередки, на базі попередньої малоцінної забудови;

- формування нових енергоефективних будівель, гармонізованих за образом, та здатної, зокрема, підсилити економічний та перспективний розвиток історично складеного середовища.

Історичні будівлі пов'язують суспільство зі спадщиною минулого та репрезентують локальні та історичні особливості міста та його мешканців [153]. На тлі реорганізаційних процесів перед архітектором постають проблеми, пов'язані із загальними особливостями, пов'язаними як з перспективною реорганізацією споруд під потреби сучасного міста, так і з гармонізацією особливостей існуючої забудови під єдиний цільний комплекс в плані матеріально-технічного забезпечення, привабливості для користувачів, та адаптивності під навколишні реалії та відповідності цілям сталого розвитку.

Перша типологія адаптації існуючої забудови включає функціональну репрофілізацію з енергоефективною модернізацією.

Бібліотека Джубілі (рис.1.6), розташована в історичному центрі міста Брайтон, Англія, є центральним елементом проєкту реновації Jubilee Square, перетворивши занедбану міську територію в культурний осередок. Розроблений Bennetts Associates та Lomax Cassidy & Edwards, сучасний дизайн бібліотеки вдало інтегровано в історично складене середовище. Зокрема, фасади бібліотеки облицьовані ручною глазурованою плиткою, що відсилає до традиційних «математичних» плиток, характерних для Брайтона [18]. Бібліотека також отримала оцінку «відмінно» за стандартом BREEAM [71]. У будівлі використано елементи пасивної вентиляції: вітрові башти на даху використовують морський бриз задля витяжки теплого повітря, забезпечуючи природну циркуляцію повітряних мас. Також, використання оголеного бетону в стінах і підлозі дозволяє акумулювати тепло вдень та віддавати вночі, забезпечуючи тепломасообмін та підтримуючи стабільну температуру [72]. Окрім того, будівля послуговується системою скляних панелей для максимального використання денного сонячного освітлення, та зменшення потреб у застосуванні штучних джерел освітлення, та містить систему збору дощової води, місткістю у 10 000 л, для забезпечення чорнових потреб [18].

Типології практичного впровадження енергоефективних рішень в історично складене середовище

Адаптація існуючої забудови

Типологія I

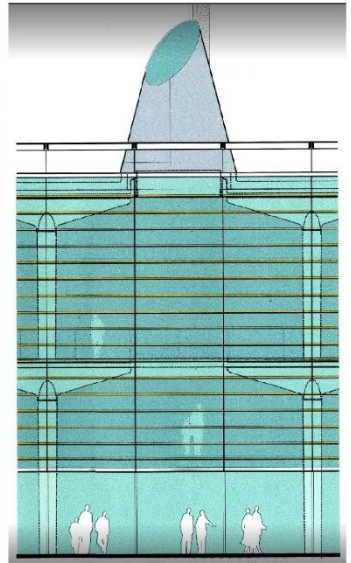
Функціональна репрофілізація з енергоефективною модернізацією

Акцент на збереженні	Фасадний образ	Масштаб і силует	Матеріальна / композиційна ідентичність	Мінімальне втручання у зовнішній вигляд	Максимальне опрацювання внутрішнього простору
----------------------	----------------	------------------	---	---	---

Jubilee Library

Bennets Associates + Lomax
2005
Брайтон, Велика Британія

- Контекстуальна інтеграція сучасної архітектури через використання глазурованої плитки, що відсилає до традиційних «математичних» фасадів Брайтона
- Застосування пасивних кліматичних стратегій: вітрові башти для природної вентиляції



Джерело: <https://www.lomax.design/work/jubilee-library/>

Джерело: <https://concretecentre.com/Case-Studies/Jubilee-Library,-Brighton.aspx>

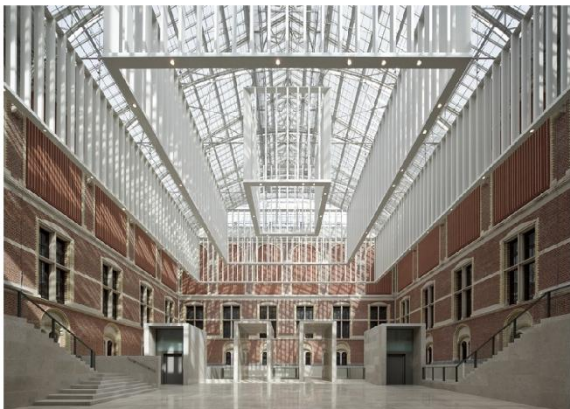
Rijksmuseum

Cruz y Ortiz arquitectos + Arup
2013
Амстердам, Нідерланди

- Комплексна реконструкція національної пам'ятки архітектури з повним збереженням історичних фасадів
- Використання генеративного та параметричного підходу для оптимізації внутрішнього зонування, прорізів та систем денного освітлення
- Інтеграція енергоефективних рішень без порушення історичного силуету та автентичності будівлі



Джерело: Paul Deelman <https://www.rijksmuseum.nl/en/press/press-releases/rijksmuseum-awarded-five-stars-for-sustainable-management>



<https://www.dezeen.com/2013/04/04/rijksmuseum-by-cruz-y-ortiz-arquitectos-and-michel-wilmotte/>

Рис.1.6 Функціональна репрофілізація з енергоефективною модернізацією

Застосування генеративного методу в контексті реконструкції будівлі з історичною цінністю, в історично складеному середовищі, було застосовано під час реставрації Рейксмузею (Rijksmuseum) в м. Амстердам, Нідерланди, здійснено архітектурною командою Cruz y Ortiz Arquitectos, у співпраці з Arup Group (рис. 1.6). За допомогою генеративних алгоритмів було згенеровано множину варіантів зонування, прорізів та систем природнього освітлення, з урахуванням обмежень по збереженню оригінальних фасадів та внутрішніх просторів. Ітераційна оптимізація також охоплювала взаємодію природної вентиляції, денного освітлення та теплового балансу, що дозволило в подальшому зменшити енергоспоживання без втрати функціональності чи порушення історичного силуету.

Об'ємно-просторова адаптація історичних будівель, без втрати архітектурного образу (рис. 1.7) представлена при реконструкції адміністративної будівлі Ex Cinema Santa Barbara, розташованої в історичному центрі Патерно, Сицилія, південь Італії. У проєкті було застосовано генеративний підхід, що став основою проєктного процесу. Будівля колишнього кінотеатру мала значну культурну цінність, тож вимагала збереження первісної архітектурної ідентичності фасаду, при цьому будучи адаптованою до вимог сучасної адміністративної будівлі. Опісля створення цифрової інформаційної моделі будівлі, характеристики якої слугували основою для подальшого генеративного моделювання – за допомогою скриптів було створено та проаналізовано сотні варіантів внутрішнього планування, варіацій віконних прорізів, глибини відсічок фасаду, вентиляційних шахт та рішень щодо природнього освітлення [18]. За допомогою параметричних інструментів було виконано симуляцію потоків повітря для організації природньої вентиляції приміщень. Водночас, окремо моделювалися сценарії внутрішнього освітлення, де тестувалась ефективність світлових ліній, розсіювання денного світла тощо. Фінальний робочий варіант було обрано не лише на основі найвищих досягнутих показників енергоефективності, а й за результатами експертної оцінки щодо збереження фасадного ритму, колористики та морфології отворів [18].

Типології практичного впровадження енергофеективних рішень в історично складене середовище

Адаптація існуючої забудови

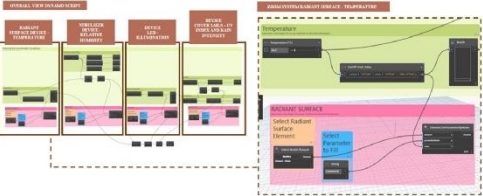
Типологія II

Об'ємно-просторова адаптація історичних будівель, без втрати архітектурного образу

Часткова трансформація об'єму	Збереження об'єму, композиції	Збереження ритму	Без втрати архітектурного образу	Мінімальне втручання у зовнішній вигляд	Кліматичні буфери
-------------------------------	-------------------------------	------------------	----------------------------------	---	-------------------

Ex Cinema Santa Barbara
Stefano Cascone, Julianna Parisi
2024
Патерно, Сицилія, Італія

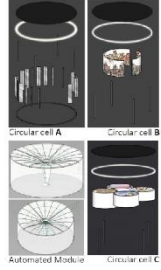
- Репрофілізація історичної будівлі колишнього кінотеатру з високою культурною цінністю у сучасну адміністративну функцію без втрати фасадної ідентичності
- Застосування генеративного проєктування на основі цифрової інформаційної моделі (BIM) для ітеративного підбору особливостей внутрішнього планування, параметрів віконних прорізів та глибини фасадних відсічок тощо



Джерело: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/16/6720>



Джерело: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/16/6720>



Reconstruction Neues Museum
David Chipperfield Architects
2009
Берлін, Німеччина

- Реставрація та адаптація історичної будівлі з принципом «критичної реконструкції», що передбачає збереження автентичних фрагментів поряд із сучасними доповненнями
- Інтеграція нових інженерних систем у наявну просторову структуру без імітації історичних форм та без порушення композиційної логіки будівлі
- Використання тепломасивних матеріалів та пасивних кліматичних стратегій для стабілізації внутрішнього мікроклімату та зменшення енергетичних витрат



Джерело: <https://divisare.com/projects/371458-david-chipperfield-architects-davide-apicella-neues-museum-museumsinsel-berlin>

Рис. 1.7 Об'ємно-просторова адаптація історичних будівель, без втрати архітектурного образу

Застосування генеративного методу при інтеграції сучасної будівлі в контекст історичного середовища було виконано при проектуванні будівлі 15 Clerkenwell Close, в історичному районі Клеркенвелл, в Лондоні (рис.1.8), спроектованої архітектором Аміном Таха та студією GROUPWORK у 2017 році. За допомогою генеративного підходу було віднайдено відповідну форму та структуру будівлі, враховуючи обмеження та вимоги історичного контексту. У проєкті використано масивний Нормандський вапняковий камінь, що формує зовнішній екзоскелет будівлі – таким чином, матеріал не лише забезпечує структурну підтримку, а й відсилає до історичної спадщини місця, де колись було розташоване Нормандське абатство, що підкреслює зв'язок з історією району. Проєкт будівлі включає також інтеграцію певних екологічних рішень, наприклад, облаштування «блакитно-зеленого» даху, що поєднує функції збору дощової води та озеленення, сприяючи сталому розвитку навколишнього міського середовища.

Застосування генеративного методу з багатоцільовою оптимізацією стало ключовим при проектуванні адміністративної будівлі Manitoba Hydro Place (рис. 1.8), розташованої в центрі Вінніпега, Канада - у сформованому міському середовищі зі збереженою сіткою історичних кварталів. Проєкт, реалізований у 2009 році архітектурною студією KPMB Architects у співпраці з інженерами компанії Atelier Ten та Parsons Brinckerhoff, став прикладом поєднання передових екотехнологій та контекстного підходу. Генеративне моделювання з використанням багатофакторного аналізу (включно з параметрами природної вентиляції, інсоляції, енергоспоживання та мікроклімату) дозволило створити конфігурацію будівлі, яка забезпечує до 80% природного провітрювання протягом року, мінімізує втрати тепла та максимізує доступ до природного освітлення. У процесі проектування застосовано паретооптимізацію за допомогою енерго- та кліматичних симуляцій (EnergyPlus, CFD-аналіз, інструменти денного освітлення), що дозволило збалансувати об'ємно-просторову організацію з параметрами енергоефективності.

Типології практичного впровадження енергофеективних рішень в історично складене середовище

Адаптація існуючої забудови

Типологія III

Реконструкція генеративними методами

Генеративний пошук рішень

Збереження фасадної логіки

Збереження морфології

Матеріальна та композиційна цілісність

Ітеративний підбір сценаріїв

Оптимізація за генеративними алгоритмами

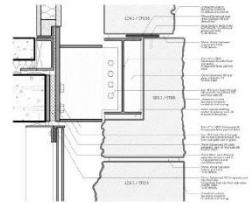
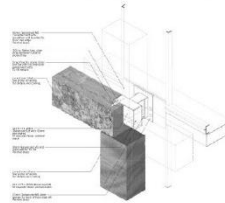
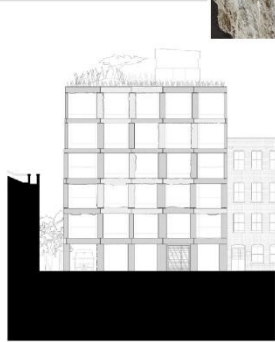
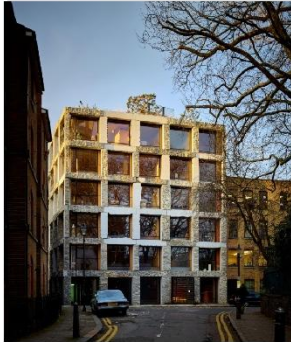
15 Clerkenwell Close

Amin Taha Architects+Groupwork
2017
Лондон, Велика Британія

-Застосування генеративного проектування для пошуку оптимальної просторово-структурної конфігурації

-Використання масивного Нормандського вапняку як зовнішнього екзоскелета, що поєднує конструктивну, матеріальну та символічну функції, відсилаючи до історичної спадщини місця

-Інтеграція екологічних рішень, зокрема «блакитно-зеленого» даху для збору дощової води, покращення мікроклімату та підвищення енергоефективності будівлі



Джерело: <https://divisare.com/projects/386190-groupwork-amin-taha-timothy-soar-15-clerkenwell-close>

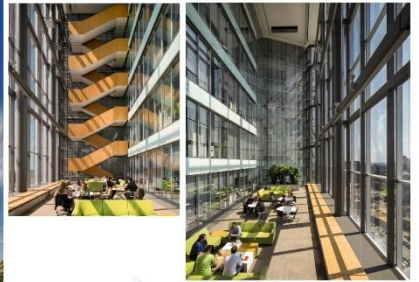
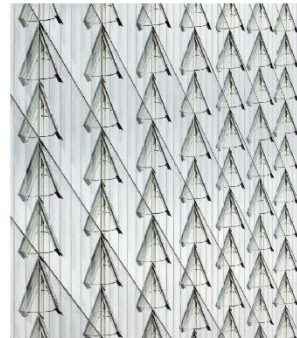
Manitoba Hydro Place

KPMB Architects
2009
Вінніпег, Канада

-Формування нової адміністративної будівлі у сформованому міському середовищі зі збереженою структурою членування історичних кварталів

-Застосування генеративного моделювання та багатокритеріальної оптимізації (EnergyPlus, CFD, моделювання денного освітлення) для досягнення балансу між формою, мікрокліматом та енергоспоживанням

-Використання будівлі як кліматичного буфера в умовах суворого континентального клімату, задля істотного зменшення тепловтрат і скороченням енергоспоживання



Джерело: <https://www.kpmb.com/project/manitoba-hydro-place/>

Рис. 1.8 Реконструкція арх. середовища генеративними методами

Застосування контекстної адаптації, у поєднанні з багатофункціональним адаптивним дизайном, з акцентом на енергоефективність (рис. 1.9), було реалізовано при проектуванні офісної будівлі KfW Westarkade, розташованої в історичному районі Вестенд у Франкфурті, Німеччина, завершеної у 2010 році архітектурним бюро Sauerbruch Hutton у співпраці з Werner Sobek Group. Хоча будівництво відбувається в межах цілісного міського середовища, враховано історичну висотність та масштабні забудови околиць. Адаптивний дизайн включає оптимізацію фасадних ритмів та об'єму, щоб забезпечити гармонійну інтеграцію в ринковий простір, з одночасним впровадженням інноваційних екосистем: вентиляційної системи з 95% рекуперацією тепла, вакуумно-ізольованих стін і тришарових вікон, а також геотермальних систем опалення та охолодження. Системний симуляційний підхід (CFD, EnergyPlus) дозволяє побудувати парето-збалансовану стратегію – мінімізацію річного споживання первинної енергії ($<90\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$) та максимальну ефективність природної вентиляції та денного освітлення.

Застосування контекстної адаптації з інтегрованим енергоефективним підходом до проектування в історично сформованому міському середовищі реалізовано при створенні комплексу Bloomberg European Headquarters, розташованого в центральній частині Лондона, Велика Британія. Комплекс було завершено у 2017 році за проектом архітектурного бюро Foster + Partners. Проект передбачав формування сучасного офісного комплексу в щільній історичній забудові міста з урахуванням морфології типового лондонського кварталу [15].

Архітектурно-планувальне рішення будівлі базується на інтеграції сучасних енергоефективних технологій із контекстуальною адаптацією до історичного середовища. Об'ємно-просторова структура комплексу сформована таким чином, щоб підтримувати традиційні пішохідні проходи та зв'язки, водночас створюючи комфортні внутрішні осередки для користувачів офісного комплексу. Фасадні рішення будівлі оптимізовано з урахуванням денного освітлення та мікроклімату внутрішніх дворів, що сприяє зменшенню потреби в штучному освітленні та кондиціонуванні.

Типології практичного впровадження енергофеективних рішень в історично складене середовище

Нові енергофеективні будівлі в історично складеному середовищі

Типологія IV

Контекстна адаптація в історичне середовище

Інтеграція в історичний контекст

Контекстний фасадний образ

Збереження ритму, масштабу

Інтеграція в лінію забудови та контекст

Сучасний фасад в нюансних прийомах

Інтеграція енергоактивних елементів

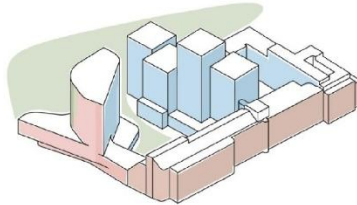
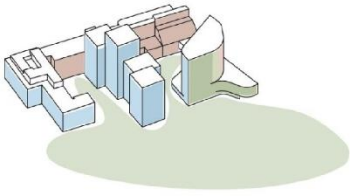
KfW Westarkade

Sauerbruch Hutton
2007
Франкфурт, Німеччина

-Формування адміністративної будівлі в історично сформованому районі Вестенд з урахуванням масштабності, висотності та ритму навколишньої забудови

-Оптимізація фасадної геометрії та глибини плану із застосуванням енергомодельювання (CFD, EnergyPlus) для досягнення балансу між інсоляцією, вентиляцією та тепловими втратами

-Застосування геотермальних систем опалення та охолодження задля мінімізації річного споживання первинної енергії (< 90 кВт-год/м²) при збереженні контекстної морфології



Джерело: <https://www.sauerbruchhutton.de/en/project/kfw>

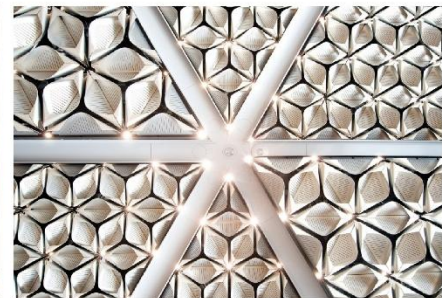
Bloomberg European Headquarters

Foster+Partners
2017
Лондон, Великобританія

-Реалізація офісного комплексу в історичному центрі Лондона з урахуванням археологічних шарів та морфології міського кварталу

-Параметрична оптимізація фасадних бронзових ламелей для регулювання денного освітлення, теплопритоків та мікроклімату внутрішніх просторів

-Досягнення одного з найвищих показників енергофеективності серед адміністративних будівель (BREEAM Outstanding) без порушення історичного масштабу та силуету міста



Джерело: <https://www.brown-carroll.co.uk/bloomberg-european-headquarters-london/>

Джерело: <https://www.dezeen.com/2017/10/04/norman-fosters-bloomberg-european-headquarters-london-worlds-most-sustainable-office/>

Рис. 1.9 Контекстна адаптація в історичне середовище

Важливим компонентом проєкту стало застосування адаптивних фасадних елементів і інтелектуальних інженерних систем, які регулюють вентиляцію, освітлення та тепловий баланс будівлі, що дозволило суттєво знизити енергоспоживання комплексу. У результаті будівля досягла одного з найвищих показників енергоефективності серед адміністративних споруд у світі, отримавши сертифікацію BREEAM Outstanding [15].

Застосування інтегрованого енергоефективного підходу, коли новосформована будівля стає компенсатором енергетичних витрат історично складеного середовища було реалізовано у проєкті офісного комплексу Siemens Headquarters, в Мюнхені (рис. 1.10). Комплекс було завершено у 2016 році, автори проєкту - бюро Henning Larsen Architects. Архітектурно-планувальна організація базується на формуванні відкритої квартальної структури з внутрішніми дворами та відкритими пішохідними зв'язками, що підтримують традиційну морфологію історичного середовища, водночас забезпечуючи зручний доступ до різних частин будівлі. Енергоефективність комплексу забезпечується через оптимізацію фасадної оболонки, імплементацію високоефективних інженерних систем, застосування геотермальних технологій, теплових насосів і систем інтелектуального управління мікрокліматом, що сукупно дозволяє зменшити енергоспоживання комплексу та підвищити ефективність використання ресурсів [56].

Офісний комплекс Edge Olympic (The Edge), реалізований у 2015 році в Амстердамі, Нідерланди, за проєктом PLP Architecture, інтегрований у міський каркас історичного середовища. Архітектурно-планувальна структура комплексу базується на оптимізації орієнтації будівлі, геометрії фасадів та планувальних рішень. У фасадних системах інтегровано сонячні панелі, що дозволяє виробляти частину необхідної енергії безпосередньо на будівлі. Поєднання сучасних інженерних установок та оптимізованих кліматичних рішень будівлі дозволяє досягти позитивного енергетичного балансу, потенційно компенсуючи частину енергетичних витрат навколишнього міського середовища [92].

Типології практичного впровадження енергофеективних рішень в історично складене середовище

Нові енергофеективні будівлі в історично складеному середовищі

Типологія V

Новосформована будівля як компенсатор енерговитрат історичного середовища

Компенсація енергетичних втрат

Втручання на рівні кварталу

Збереження історичних будівель

Інтеграція систем акумуляції енергії

Вироблення енергії з енергоактивних елементів

Компенсація енерговитрат історичного середовища

Siemens Headquarters

Henning Larsen Architects
2016
Мюнхен, Німеччина

-Формування нової адміністративної структури в межах сформованого міського середовища з інтеграцією публічних просторів та відкритих внутрішніх дворів

-Створення енергофеективної оболонки з оптимізованим співвідношенням засклення та ізоляції для зниження тепловитрат і навантаження на міські мережі

-Використання геотермальних систем, теплових насосів



Джерело: <https://henninglarsen.com/projects/siemens-global-hq>

Edge Olympic (The Edge)

PLP Architecture
2015
Амстердам, Нідерланди

-Формування адміністративної будівлі в межах історично сформованого міського каркасу з акцентом на інтеграцію в існуючу транспортну та просторову структуру

-Застосування багатокритеріальної оптимізації фасаду, інтеграція фотоелектричних панелей, систем акумуляції енергії та інтелектуального управління інженерними мережами

-Досягнення енергетичного балансу, що перевищує власні потреби будівлі, із потенціалом компенсації частини енерговитрат навколишнього міського середовища



Джерело: <https://plparchitecture.com/the-edge/>

Рис. 1.10 Новосформована будівля як компенсатор енерговитрат архітектурного історичного середовища

Застосування комплексного підходу в історично складеному середовищі, де новосформована будівля слугує як ядро і каталізатор впровадження енергоефективності, було реалізовано при проектуванні офісної будівлі The Crystal, розташованої в районі Royal Docks у Лондоні, завершеної в 2012 році архітектурним бюро WilkinsonEyre (рис. 1.11). Будівля інтегрована в контекст історичного промислового району. Завдяки використанню пасивних систем охолодження, теплових насосів, інтелектуальних систем управління вентиляцією та освітленням, а також системі збору та повторного використання дощової води річне споживання енергії знизилося до 50 кВт·год/м² [112].

Генеративний метод було застосовано при реалізації культурного центру Strait Culture and Art Center в історичному районі м. Фучжоу, Китай, спроектованого архітектурною студією Pes-Architects у співпраці з інженерною компанією Arup. Цей метод дозволив комплексно підійти до пошуку форми будівлі, орієнтації об'ємів та пошуку геометрії стелі та стін, з урахуванням критеріїв акустичної ефективності, візуальної композиції, денного освітлення та енергоспоживання. За допомогою алгоритмічного моделювання та парето-еволюційних алгоритмів було згенеровано десятки варіантів конфігурацій поверхонь для досягнення збалансованої акустики без втрати пластичної виразності інтер'єру. Ітеративне моделювання в рамках генеративного методу врахувало також взаємодію з наявним фасадним ритмом історичного архітектурного середовища, ландшафтні зв'язки та специфіку формування громадських просторів [90].

Прикладом використання генеративних підходів при формуванні енергоефективної архітектури в умовах історично складеного середовища є адміністративна будівля 1 Angel Square, реалізована у 2012 році в Манчестері, Велика Британія, за проектом 3D Reid (рис. 1.12). Архітектурну форму будівлі було віднайдено на основі багатофакторного аналізу кліматичних та енергетичних параметрів. Оптимізація геометрії фасадної оболонки, орієнтації будівлі та структури внутрішніх просторів забезпечується попередньо прорахованим впливом природнього освітлення та вентиляції [1].

Типології практичного впровадження енергоефективних рішень в історично складене середовище

Нові енергоефективні будівлі в історично складеному середовищі

Типологія VI

Новосформована будівля як ядро і каталізатор впровадження енергоефективності

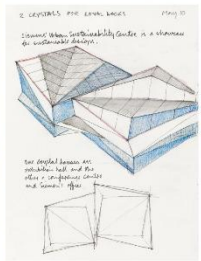
Реактивне поширення стійких змін	Формування енергетичного "ядра"	Посилення соціальної активності	Каталізація впровадження змін	Поширення трансформаційних процесів	Зниження сумарного енергоспоживання
----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

The Crystal (City Hall London)

WilkinsonEyre
2012
Лондон, Великобританія

-Формування муніципального та освітнього центру як енергетично самодостатнього осередку в історично трансформованому портовому районі Royal Docks

-Інтеграція теплових насосів, геотермальних систем та пасивних стратегій охолодження задля мінімізації річного енергоспоживання



Джерело: <https://wilkinsoneyre.com/projects/the-crystal>

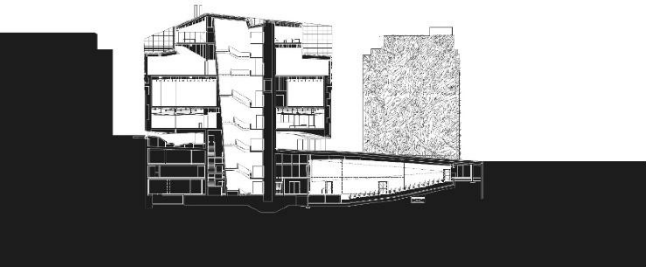
CaixaForum Madrid

Herzog & de Meuron
2003-2008
Мадрид, Іспанія

-Реконструкція та надбудова колишньої електростанції з формуванням культурного центру в історичному контексті

-Збереження історичної оболонки з одночасним формуванням нового просторового громадського ядра, інтеграція природного освітлення через систему внутрішніх атриумів та вертикальних комунікацій

-Формування енергоефективного культурного осередку, що активізує соціальні та економічні процеси в межах історичного району



Джерело: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/201-caixaforum-madrid/>

Рис. 1.11 Новосформована будівля як ядро і каталізатор впровадження енергоефективності

Застосування системи подвійного фасаду, у комбінації з застосуванням керованих повітряних потоків дозволяє як стабілізувати внутрішній мікроклімат, так і зменшити потребу в механічному кондиціонуванні. У поєднанні з когенераційними установками та системами утилізації надлишкового тепла це забезпечує суттєве скорочення первинного енергоспоживання будівлі та підвищення її енергоефективності [1].

Іншим прикладом використання генеративного дизайну при інтеграції нових енергоефективних будівель та споруд у сформоване історичне середовище є проєкт Engineering Heartspace, реалізований у 2018 році в кампусі Університету Шеффілда (Велика Британія) за проєктом Bond Bryan Architects у співпраці з Arup (рис. 1.12). Будівля поєднує кілька історичних корпусів університету під хвилястою скляною конструкцією даху, формуючи спільний внутрішній простір для навчання та досліджень [47].

Архітектурно-планувальна концепція базується на створенні атриумного простору, який водночас забезпечує природне освітлення і вентиляцію внутрішніх приміщень та виступає ключовим елементом просторової інтеграції історичних будівель, оскільки розміщений між будівлею Маппін II та Центральним крилом 1885 року. Формотворчий пошук здійснювався із застосуванням цифрового моделювання та інженерних симуляцій, що дозволило оптимізувати як форму покриття, так і параметри мікроклімату та енергоспоживання будівлі. Сучасний вигнутий дизайн даху контрастує з існуючими стриманими цегляними будівлями – обтічна форма якого розташована поміж вершинами існуючих дахів і створює чітку різницю між старим і новим. Поєднання пасивних архітектурних рішень із сучасними інженерними системами дозволило досягти скорочення енерговитрат на забезпечення оптимальних умов мікроклімату всередині атриумної споруди, зберігаючи при цьому масштаб і морфологію історичного університетського середовища [47].

Типології практичного впровадження енергофеективних рішень в історично складене середовище

Нові енергофеективні будівлі в історично складеному середовищі

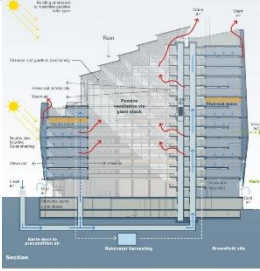
Типологія VII

Генеративна інтеграція в історично складеному середовищі

- Генеративне моделювання
- Багатофакторна оптимізація
- Комплексний підхід
- Генеративні методи
- Ітеративне опрацювання
- Інтеграція в морфологію історичного середовища

1 Angel Square
 3D Reid
 2012
 Манчестер, Велика Британія

- Формування адміністративної будівлі з урахуванням історичного планувального каркасу району
- Багатокритеріальна оптимізація геометрії оболонки та орієнтації фасадів для досягнення балансу між денним освітленням, вентиляцією та тепловими втратами, застосування подвійної фасадної системи та природної вентиляції з параметричним аналізом повітряних потоків
- Інтеграція когенераційних установок, систем утилізації тепла та оптимізованого мікроклімату, що забезпечує істотне зниження первинного енергоспоживання



Engineering HeartSpace
 Bond Bryan Architects + Arup
 2018
 Шеффілд, Велика Британія

- Формування інженерного кампусу в структурі історично складеного університетського середовища з адаптацією до морфології кварталу
- Параметрична оптимізація внутрішнього атриумного простору для забезпечення природної вентиляції та рівномірного денного освітлення
- Комплексне енергомоделювання (CFD, аналіз інсоляції, тепловий баланс) для узгодження форми, мікроклімату та енергоспоживання



Джерело: <https://bondbryan.co.uk/project/engineering-heartspace/>

Рис. 1.12 Інтеграція нових будівель в історично складеному середовищі генеративним методом

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ І:

1. Встановлено передумови формування енергоефективної архітектури в історичному середовищі. Проаналізовано *соціально-економічні, містобудівні та екологічні фактори*, що визначають необхідність інтеграції енергоефективних рішень у сформовану забудову, а також виявлено взаємозв'язок між вимогами збереження та розвитку історичного архітектурного середовища та впровадженням сучасних об'єктів та технологій.

2. Встановлено, що історично складене середовище характеризується високим рівнем інерційності розвитку та обмеженою здатністю до швидкої адаптації до сучасних технічних і соціальних вимог, що призводить до його поступової функціональної та просторової деградації, та обумовлює необхідність впровадження керованих втручань, здатних активізувати розвиток середовища без втрати його ідентичності. Визначено, що значна частка історичного будівельного фонду (зокрема будівлі, зведені до 1945 року) формує значний потенціал для підвищення енергоефективності на рівні міста, однак через нормативні та охоронні обмеження цей потенціал реалізується фрагментарно. Це актуалізує роль нової забудови як *інструменту компенсації енергетичних втрат* середовища.

3. Систематизовано наукові підходи та досвід проектування. Узагальнено вітчизняний і зарубіжний досвід формування енергоефективних будівель, що дозволило визначити ключові принципи інтеграції нової забудови в історичний контекст без порушення його цілісності. Доведено, що сучасні міжнародні дослідницькі програми (зокрема ZenCult, EFFESUS) формують перехід від ізольованих технічних рішень до інтегрованих моделей енергоефективної реновації, які поєднують діагностику, моніторинг, моделювання та оцінку ефективності втручань, що може бути адаптовано до умов українських міст.

4. Аналіз теоретичних джерел і практики проектування засвідчив, що традиційні підходи до формування архітектурних рішень не дозволяють ефективно враховувати багатofакторність історичного середовища. У зв'язку з цим обґрунтовано *доцільність застосування параметричних та*

алгоритмічних методів як інструментів, здатних інтегрувати різноманітні вимоги в єдину систему прийняття проєктних рішень.

5. Виокремлено та проаналізовано сім типів практичного впровадження енергоефективних рішень в історично складене середовище, а саме: *функціональна репрофілізація* з енергоефективною модернізацією; *об'ємно-просторова адаптація* історичних будівель, без втрати історичного образу; *реконструкція генеративними методами*; *контекстна адаптація* в історичне середовище; новосформовані будівлі як *компенсатор енерговитрат* історичного середовища; новосформовані будівлі як *ядро і каталізатор впровадження енергоефективності*; *генеративна інтеграція* в історично складеному середовищі.

6. Визначено, що впровадження енергоефективних рішень у історично складеному середовищі має базуватися на *балансі між збереженням автентичності та інтеграцією інноваційних технологій*, де ключовим критерієм виступає не лише енергетична ефективність, а й збереження композиційної, просторової та культурної цілісності середовища.

РОЗДІЛ II

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ В ІСТОРИЧНО СКЛАДЕНОМУ АРХІТЕКТУРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

2.1 Загальні методи дослідження історичного середовища

Досліджені напрацювання та досвід сприяли необхідності сформуванню той методологічний базис дисертаційного дослідження, що включатиме поєднання різних методів та їх мультидисциплінарне походження. Проблема реновації історично складеного середовища формує різноплановість дослідження, оскільки є необхідність залучення аспектів з різних галузей: будівництва, реставрації, історії, археології, енергоаудиту, інженерії та ін., тому досягнення результатів наукового дослідження передбачає застосування спеціальних методик та підходів.

Відповідно, доцільним постає розгляд системного аналізу, що дозволяє комплексно оцінити взаємозв'язки між архітектурними, функціональними, енергетичними та історико-культурними характеристиками середовища.

При дослідженні історично складеного середовища, застосовуються методики, метою яких є власне визначення поточного стану будівель - задля визначення сильних та слабких сторін, оцінки потенціалу та потреби у впровадженні тих чи інших заходів, та виокремлення основних характеристик, що можуть власне більш якісно бути покращеними через енергоефективний симбіоз із новими сформованими будівлями.

Процес підвищення енергоефективності історично складеної забудови часто передбачає імплементацію нових технологій, що за відсутності послідовної стратегії загрожують порушити автентичну цілісність будівель. Проте, сьогоденній досвід показує, що діяти слід шляхом впровадження делікатних змін, де це можливо та необхідно [8].

Кащенко Т.О., у своїй роботі «Інтегральна модель енергоефективного архітектурного середовища», розглядає енергоефективне архітектурне середовище як складну багатофакторну, багатопараметричну систему,

орієнтовану на синтез цілісного архітектурного середовища, з притаманним йому комплексом характеристик [36].

Таким чином, питання енергоефективної реновації історично складеного середовища потребує всеохопного розгляду, що враховуватиме баланс поміж покращенням аспектів енергоефективності та збереженням неповторних характеристик та відмінностей історичних будівель, а також системного підходу, що розкладатиме проблему на окремі зв'язки та елементи, та досліджуватиме відношення поміж ними. Характерною відмінністю системного підходу, як теоретичного методу дослідження, полягатиме в тому, що опісля аналітичного розчленування та дослідження, компоненти синтезуються задля виокремлення як загального рішення, так і окремих субрішень (рис.2.1).

Методологія даного дослідження послугуватиметься системним підходом, аби врахувати найважливіші аспекти та взаємозв'язки на основі інтерпретації системних принципів до умов історично складеного середовища. При цьому, рішення системного підходу подано у вигляді окремих принципів та прийомів – що власне відображатимуть архітектурну організацію енергоефективних громадських будівель в межах історично складеного середовища.

Науковий базис дисертаційного дослідження формуватимуть наступні характеристики системного підходу: глобальність мети, що визначає функціонування та розвиток системи та її складових; ієрархічність, для визначення послідовності розгляду складових; принцип зв'язності, єдності – для виокремлення компонентів системи, що досліджуватимуться як окремі взаємопов'язані складові [157]; забезпечення розвитку, для подальшого вдосконалення системи [179].

Окрім системного аналізу, дане дисертаційне дослідження послугується як загальними, так і спеціальними методами наукового дослідження. На етапі збору вихідної інформації доцільно користуватися емпіричними та теоретичними методами – порівняннями, переходами від конкретного до абстрактного, та у зворотньому напрямку – переході від абстрактного до конкретного у дослідженні

та виокремленні тих елементів та характеристик, що впливатимуть на архітектурну організацію.

Слід зазначити, що якщо теоретичні методи в межах тематики дослідження складатимуться із аналізу, синтезу, порівняння чи моделювання тих чи інших методик, то практичні можуть включати проведення окремих натурних вимірювань та експериментів. Останні, при чім, включатимуть констатацію змін стану об'єкту, яку можна передбачати перше за методів комп'ютерного моделювання, а далі - апробувати їх практично в межах певних експериментальних моделей. Подальша робота послугуватиметься також комплексними методами – абстрагуванням, структурно-генетичним аналізом тощо (рис. 2.2).

Метод абстрагування полягає в умовному відокремленні тих елементів, властивостей, зв'язків та функцій, що матимуть несуттєвий вплив, аби натомість зосередитися на конкретних властивостях однієї чи кількох особливостей. В межах дослідження підвищення енергоефективності архітектурного середовища загалом та формування енергоефективних громадських будівель в історично складеному середовищі зокрема, даний метод стосуватиметься вивчення окремих характеристик, що включатимуть в себе дослідження та потенціалу на покращення параметрів освітлення, параметрів теплового комфорту, параметрів забезпечення якості повітря, зменшення енергопотреб, збільшення частки забезпечення середовища альтернативною енергетикою тощо.

Метод структурно-генетичного аналізу дозволяє якнайглибше вникнути в сутність об'єкту. Разом із синтезом, дозволяє виділити за допомогою складових в окремих елементах всі інші сутності досліджуваного об'єкту. Даний метод доцільно застосовувати там, де досліджується історична генеза розвитку об'єкту.



Рис. 2.1 Теоретичні, емпіричні методи та системний підхід

Графічний метод, або ж графічний аналіз – супроводжуючий метод, що доповнюватиме інформацію отриману за допомогою інших методів, задля наочного відображення отриманих результатів. Також, окрім класичного трактування, в архітектурному контексті, графічний метод сприятиме також у співставленні образу архітектурного середовища до та після втручань, оскільки при роботі з енергоефективною реновацією історично складеного середовища, існує також потреба збереження архітектурного образу середовища.

Кореляційний аналіз оперує взаємозв'язками поміж окремими ознаками та результуючим показником та послуговується поняттями «змінних» та «кореляції». В поточній роботі буде досліджено причинну кореляцію: як використання тих чи інших методик впливатиме на зміну показників історично складеного середовища, оскільки є необхідність виділити саме енергоефективні аспекти та впливати на їх модифікацію шляхом утворення нових громадських будівель.

Компонентний аналіз – встановлює зв'язок поміж досліджуваним аспектом, та групою аспектів чи факторів, куди цей досліджуваний аспект належить. Наприклад, при дослідженні чинників, що впливають на тепловтрати складеного середовища – досліджується аспект енергопотреб, що у свою чергу, є чинником, оптимізація якого впливає на енергозабезпечення архітектурного середовища.

Модельний експеримент – ураховує можливі варіанти розвитку структури, та дає можливість враховувати та співставляти поміж собою велику кількість факторів, на які буде опиратися об'єкт дослідження. Розвиток архітектурного середовища можна прогнозувати за допомогою методів аналітичного моделювання, із застосуванням інструментів та різних варіацій програмного забезпечення, що у свою чергу, базуються на основі законодавчих та нормативних документах щодо підвищення енергоефективності. За допомогою модельного експерименту можна порівнювати характеристики сучасного та проєктованого станів, та за потреби, здійснювати оптимізацію останніх.

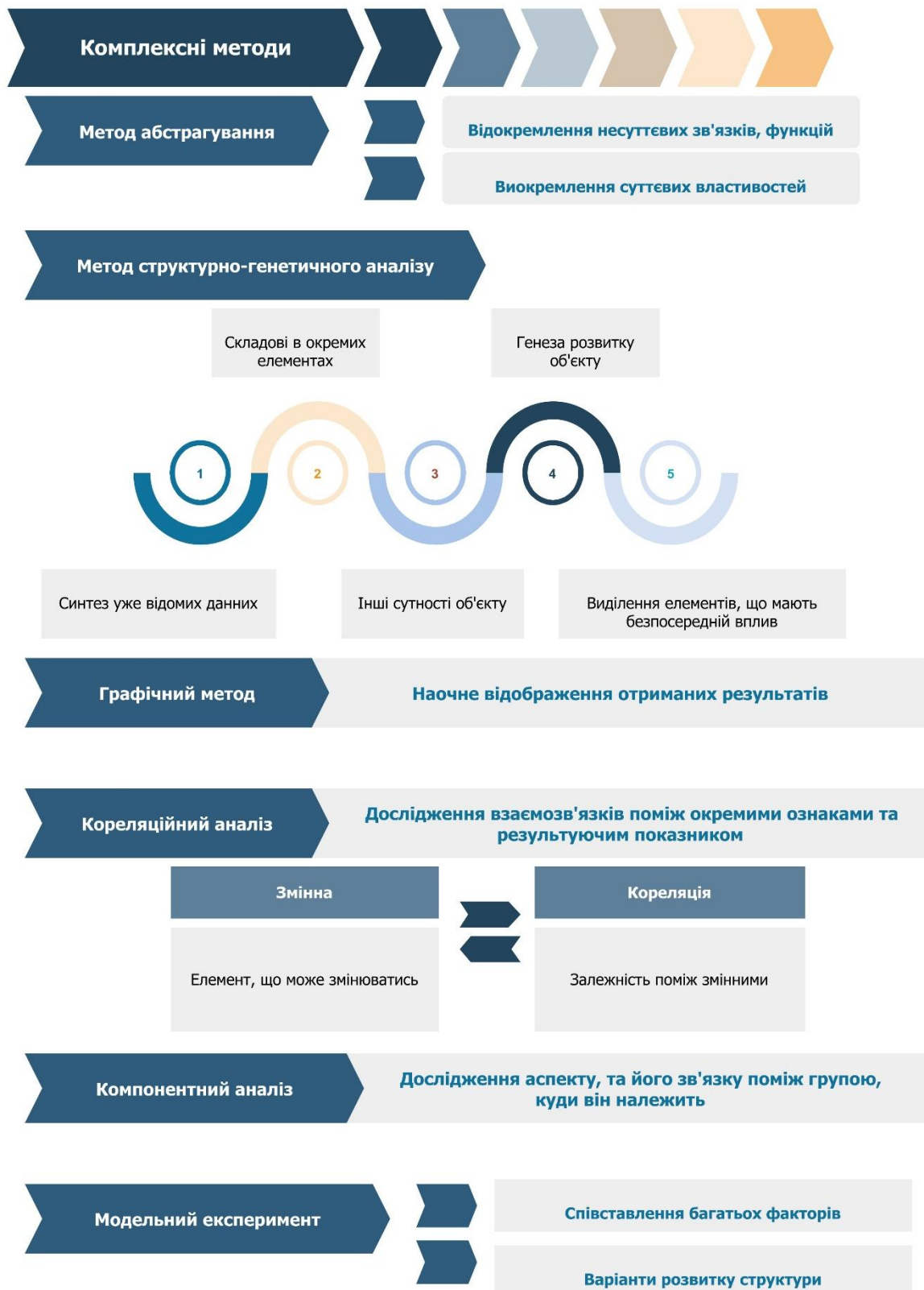


Рис. 2.2 Комплексні методи дослідження характеристик архітектурного середовища

Доцільним стає виділення етапів наукового дослідження історично складеного середовища.

Початковий етап дослідження полягає в обробці та систематизації існуючої наукометричної бази, як вітчизняної, так і закордонної, що зосереджується на вивченні питань енергоефективної реновації історичної забудови, а також вивчення практичного досвіду та виділення актуальних напрямків дослідження заданої теми.

За допомогою теоретичних методів дослідження – зокрема контент аналізу, концептуального аналізу та порівняльних методів – у першому розділі було проаналізовано теоретичні напрацювання по темі підвищення енергоефективного потенціалу існуючого архітектурного середовища. Було розглянуто як законодавчу базу - серед них міжнародні документи, директиви, а також відповідні закони України, та національні стратегії, так і методичні та наукові праці, а також дослідницькі проєкти, що мали на меті вироблення та окреслення окремої методології, або ж зібрати компендіум окремих архітектурних та технічних рішень з підвищення енергоефективності існуючих, та зокрема історичних будівель. Проте ці доробки не зосереджуються на питанні підвищення енергоефективності складеного середовища шляхом формування нових будівель, та основ їх організації, зокрема, саме в історично складеному середовищі. Виділення останніх є метою даного дисертаційного дослідження та підтверджує його наукову новизну.

За допомогою контент-аналізу було вивчено світовий досвід формування енергоефективних громадських будівель в історично складеному середовищі, та проаналізовано їх вплив на підвищення енергоефективності. Аналіз досвіду архітектурно-планувальної організації дозволив виокремити та сформулювати загальну стратегію та послідовність при реалізації подібних проєктів.

Наступний етап дослідження – вивчатиме процеси та закономірності розвитку історичної забудови як досліджуваної архітектурної одиниці, та вимагає застосування комплексних методик при зборі інформації про поточний стан будівлі, що включають в себе як історико-соціальний та інструментальний аналіз

будівлі, так і моделювання об'єкту для проведення аналітичних досліджень показників будівлі. Дані дослідження проводяться для встановлення характеристик забудови з метою виявлення потенціалу підвищення енергоефективності та мінімізації впливу від споруди на навколишнє середовище [151].

Історико-соціальний аналіз, як первинний етап збору даних, послуговуватиметься в основному емпіричними методами, оскільки передбачає опрацювання первинних та вторинних джерел про об'єкт, а також натурні обстеження, що послуговуватимуться вимірюваннями та спостереженнями, здійсненими безпосередньо на об'єкті. Отримана емпіричними методами інформація піддаватиметься теоретичній обробці шляхом аналізу та синтезу: дані про об'єкт розділяються для вивчення на складові, за певними ознаками та властивостями, а потім синтезуються задля оформлення подальших цілей та стратегій, як загальних по проєкту, так і поокремних, що застосовуватимуться на подальших етапах дослідження.

Подальший інструментальний аналіз використовуватиме штучні об'єкти дослідження – як прості так і складні. Відмінність поміж ними полягатиме у кількості елементів та числі зв'язків поміж ними. Прості об'єкти в даному контексті складаються з кількох елементів та передбачають прості натурні інструментальні дослідження. Складні об'єкти характеризуватимуться невизначеною структурою, та вивчатимуться в тому разі, якщо проведення того чи іншого інструментального дослідження носитиме деструктивний характер, та потребуватиме альтернативного варіанту – наприклад, проведення неінвазивних тестів та подальшого застосування діалектичних принципів. Останні, у свою чергу, послуговуються законами та категоріями. Закони, в інструментальному аналізі – це про об'єктивні загальні зв'язки поміж сутностями. Окрім поняття закону, застосовуватиметься також однопорядкове щодо нього поняття «закономірності», що відображає існуючі об'єктивні та загальні зв'язки, котрі існують в об'єктивній дійсності.

Аналітичне моделювання базується на використанні параметрики, алгоритмів та обчислювальних інструментів, і так само як і інструментальний аналіз – послуговується діалектичними методами. Діалектичні методи спираються на три основні закони: закон взаємозв'язку кількісних та якісних змін, закон протилежностей та закон заперечення заперечення [185], котрі у свою чергу також лежать в основі інструментів симуляції. В аналітичному моделюванні застосовуються також такі поняття законів діалектики, як кількість, якість, властивість, міра, зв'язок, відношення, відмінність та ін., котрі виділяють зв'язки та зміни при дослідженні об'єктів [157].

Згідно вищевказаних досліджень, висунуто наукову гіпотезу щодо параметричних основ архітектурної організації енергоефективних громадських будівель в історично складеному середовищі. Алгоритм доцільно використовувати як для оцінки енергоефективності існуючого стану, так і для оцінки потенціалу подальших втручань. Проектування енергоефективних громадських будівель в межах історично складеного середовища передбачає проведення оцінки енергоефективності проекту, та порівняння з вихідними даними об'єкту, або ж з первинними проектними ітераціями, для оцінки доцільності проведених втручань та виділення поточно слабких місць, що потребуватимуть оптимізації [152]. Оптимізацію проекту доцільно проводити за допомогою згаданих вище інструментів аналітичного моделювання, зокрема параметричного аналізу. Останній буде особливо корисним зокрема й тому, що при внесенні змін в ті чи інші показники, параметрично пов'язані деталі, елементи та компоненти будівлі, автоматично оновлюються.

Отримані за допомогою попередніх аналізів дані потребуватимуть систематизації для виділення наукових засад дослідження. Одним з варіантів систематизації даних може бути застосування мультирівневого піходу, що передбачає класифікацію інформації згідно контексних рівнів та передбачає виділення під дослідження тих чи інших енергоефективних характеристик будівлі, залежно від контекстного рівня, на якому проводиться аналіз.

Класифікація отриманої таким чином інформації, дасть змогу цілісного розуміння будівлі та її стану як такого, а архітектор, консерватор чи енергоаудитор при роботі з подібним проектом оцінюватимуть потенціал тих чи інших втручань, даючи оцінку чинним аспектам та проблемам енергоефективності будівлі на контекстуальних рівнях деталізації.

При мультирівневому підході класифікація інформації відбувається за так званим Raumbusch-методом, основною особливістю якого є зв'язок поміж отриманою інформацією про будівлю, та її позицією в межах джерел інформації. Описи, плани, фотофіксації, креслення, історична документація про будівлю, фіксація змін та навколишнього контексту, аналіз навколишньої інфраструктури, енергопостачання та енергоспоживання тощо – за мультирівневого підходу виділяється на чотирьох контекстуальних рівнях – містобудівельному, формотворчому, функціональному, інженерно-технічному (табл.1).

Містобудівельний рівень стосуватиметься тих аспектів, що відповідають за розташування та контекст навколишнього середовища. Кліматичні, орієнтаційні та переважаючі погодні умови останнього при тім визначатимуть ті чинники, властивості котрих будуть одними з першочергових базисних орієнтирів при встановленні проектних задач, пов'язаних з очікуваним рівнем енергоефективних параметрів.

Формотворчий рівень стосуватиметься просторово-геометричних аспектів – форми будівлі, розмірів її частин та елементів, динаміки їх змін, та пов'язані з ними мікрокліматичні та енергетичні процеси. Формотворчий рівень безпосередньо пов'язаний з подальшою архітектурною організацією, що матиме в основі як елементи орієнтаційного дизайну і взаємозалежність енергоефективності від компактності, поверховості і габаритів - так і взаємодіятиме з певними змінами існуючої структури, чи утворенням нових елементів в межах складеного архітектурного середовища, що можуть наприклад володіти потенціалом встановлення відновлюваних джерел енергії, та в подальшому зокрема оптимізують рівень енергонадходжень та енерговитрат.

Таблиця 1: Рівні аналізу при мультирівневому підході та їх зв'язок з історичними та енергоефективними аспектами будівлі

Назва рівня	Історичні аспекти	Енергоефективні аспекти
1	2	3
Місто-будівельний	Локація, транспортний та пішохідний доступ, історичний контекст, історичне та соціокультурне значення, роль в структурі міста	Орієнтація, рельєф, кліматичні умови, панівні вітри, наявність та тип зелених насаджень, зв'язок будівлі з навколишньою забудовою
Формотворчий	Форма, матеріали, компактність, кількість поверхів, наявність та стан оздоблень, стан огорожуючих та несучих конструкцій, динаміка змін та втручань у будівлю, взаємозв'язок попередньої форми та функції	Форма, компактність, сейсмічна стійкість, стан та стійкість несучих та огорожуючих конструкцій, мікрокліматичний аналіз процесів всередині будівлі, аналіз руху потоків повітря, стан, форма та орієнтація віконних та дверних отворів, стан, скат та орієнтація покрівель
Функціональний	Попередня функція, попереднє призначення та використання приміщень. Історична динаміка змін та процесів	Поточне енергопостачання/енерговитрати, аналіз енергозатратності окремих функцій, мікрокліматичні вимоги забезпечення параметрів комфорту залежно від функціональних процесів всередині будівлі
Інженерно-технічний	Стан огорожуючих та несучих конструкцій, стан інженерних мереж, існуючі засоби енергозабезпечення	Аналіз безперервності теплового контуру, наявність містків холоду, герметичність з'єднань у конструкціях; існуючі засоби енергопостачання, їх зв'язок з інженерними мережами, поточне споживання/використання енергії, виділення чинників енергетичних втрат

Функціональний рівень вивчає поточні процеси та динаміку їх змін згідно функції, що безпосередньо впливатиме на енергопотреби та енерговитрати будівлі, оскільки задаватиме основний вектор енергоспоживання згідно процесів та потреб користувачів. Функціональні процеси також визначатимуть цілі проєкту, пов'язані з забезпеченням та покращенням необхідних мікрокліматичних параметрів, а саме забезпечення того чи іншого коефіцієнту природнього освітлення, температури у приміщеннях залежно від їх типу та призначення, акустичних параметрів.

Інженерно-технічний рівень характеризується найбільшою мультидисциплінарністю з-поміж усіх чотирьох та визначатиме стан усіх конструкцій, мереж, герметичність з'єднань, аналізуватиме існуючі засоби енергозабезпечення та потенціал їх покращення, і приведення у відповідність згідно енергопотреб, визначених на попередньому рівні. Важливим аспектом буде виділення чинників енергетичних втрат та їх подальше усунення.

Виділення та аналіз історичних та енергоефективних аспектів будівлі на структурних рівнях дає змогу усім учасникам проєктного процесу досягти більш цілісного розуміння вхідних даних на етапі аналізу, а структуризація аспектів при мультирівневому підході сприяє систематизації та збереженні інформації про будівлю також на перспективу для майбутніх поколінь.

Перед етапами аналізу слід виділити наявні обмеження та особливості історично складеного середовища, що впливатимуть на проєктний процес.

При роботі з історично складеним середовищем існують свої вимоги, особливості та обмеження, які пов'язані з необхідністю збереження його автентичності та історичного характеру – з одного боку, та з обмеженнями технічного характеру, що унеможливають застосування тих чи інших практик, або ж обмежують їх імплементацію – з іншого [125].

Обмеження можуть впливати як на можливість збору тих чи інших даних на етапі первинного дослідження, так і на подальший вибір проєктного рішення. В деяких випадках вони унеможливають прийняття рішень щодо проведення тих чи інших інструментальних втручань, тоді слід послуговуватися теоретичними методами дослідження замість емпіричних [77].

Для кожного проєкту енергоефективної реновації історичного середовища існують як загальні обмеження, що стосуються історичних особливостей, так і конкретні, що стосуються конкретного проєкту [117].

Загалом, ці обмеження можна поділити на три основні категорії:

- загальні обмеження, обумовлені історичним контекстом – пов'язані з унеможливленням застосування певного типу втручань, зокрема, зміною планувального чи об'ємно-просторового рішення, втручань в тепловий контур

огороджуючих конструкцій, зміни в яких впливатимуть на історичний образ та аутентичність тощо;

- специфічні обмеження— визначатимуть локальні проєктні обмеження щодо характеристик конкретної будівлі, наприклад, через аварійний стан певних елементів чи конструкцій, що вимагатимуть заміни, або ж унеможливлення застосування тих чи інших технологій через їх низький потенціал у конкретному проєкті;

- проєктні обмеження, обумовлені як цілями конкретного проєкту, функцією об'єкту, так і наявним бюджетом.

Серед окремих обмежуючих факторів слід також зазначити переважну відсутність джерел капіталовкладень на грамотну реновацію історичного середовища. Якщо розглядати контекст енергоефективної модернізації зокрема, то слід зазначити, що одним із методів є надання під данну ціль споживчих кредитів, котрі можуть покриватися за рахунок економії на витратах на енергетику, проте вони є непривабливими через високу процентну ставку [63]. Приватні ж інвестори наразі часто не бачать вигоди в інвестиціях значних капіталовкладень на подібні проєкти, через низьку окупність у короткотерміновій перспективі.

Ефективність подібних ініціатив значною мірою залежатиме від формування цілісної системи державної та муніципальної підтримки, що включатиме механізми пільгового кредитування, податкових стимулів, грантових програм та компенсацій на впровадження енергоефективних заходів у межах історично складеного середовища. Водночас важливим є створення нормативного та інвестиційного середовища, у якому збереження історичної забудови розглядатиметься не як фінансове навантаження, а як довгостроковий ресурс розвитку міста, здатний формувати культурну, туристичну та економічну привабливість території.

Зацікавлення інвесторів у розвитку та збереженню історичного середовища може відбуватися через надання їм перспектив у створенні в історично складеному середовищі нових будівель та споруд, що своїми якостями

доповнюватимуть історично сформовані, проте не руйнуватимуть автентики і цілісності образу архітектурного середовища. Грамотно реновані та реінтегровані у місто історичні комплекси, квартали, осередки – стають точками атракції потенційних споживачів, а отже і приносять економічний профіт інвесторам, і зберігають історичне середовище як джерело культурної спадщини та основи духу та характеру місцевості.

Також, одним із ефективних рішень є поглиблення ініціатив на муніципалітетному та державному рівнях, спрямованих на компенсацію капіталовкладень в енергомодернізацію. Поглиблення даних ініціатив будуть необхідним кроком на шляху адаптації державної політики у норми Європейського Союзу.

2.2 Методи комплексного аналізу історичної забудови

Одним із базових етапів дослідження історично складеного середовища, що дозволяє визначити історико-культурні, функціональні та соціальні характеристики забудови, простежити закономірності її розвитку та сформувані підґрунтя для подальших рішень щодо енергоефективної реновації й збереження архітектурної автентичності – слугуватиме історико-соціальний аналіз.

В умовах війни, процес збереження та розвитку існуючої історичної забудови ще більш тісно пов'язаний з питанням збереження національної ідентичності. Згідно Афіїнської Хартії, часова кон'юнктура впливає на формування соціальних зв'язків та культурних відмінностей у суспільстві, що говорять не лише про безперервність певного характеру в історично складеному середовищі, але й про спадкоємність ідентичності, що є важливою цінністю, котру слід зберігати та розвивати у динамічному швидкозмінному світі [113].

Історично сформоване середовище також несе в собі пам'ять людства про усі часи та епохи, в межах яких воно існувало, та в часи сьогодення воно руйнується більш стрімко зокрема через російські бомбардування українських міст внаслідок повномасштабної війни. Історичний архітектурний спадок формується не лише з монументальних будівель та споруд, а й з більш скромних та менш виразних та репрезентативних будівель, що часто слугують фоном, проте їх

збереження та розвиток є не менш важливим, аби досягнути дух міста у всій його повноті.

Образ архітектурного середовища здебільшого формується століттями, нашаровуючи на себе елементи усіх епох – через планувальну структуру, стиль чи окремі елементи. У часи сьогодення, історично сформоване середовище часто втрачає свою цілісність та значимість через неграмотно вписані та сформовані в його межах нові будівлі, оскільки забудовники та девелопери часто ставлять прибуток вище потреби збереження образу історичної спадщини.

Сучасне місто часто забудовується таким чином, що усі наявні історичні зв'язки перебувають поза контекстом участі в процесах розвитку. Процеси, що відбуваються в такому місті, призводять до погіршення економічних і соціальних структур та виявляють відсутність послідовності у фізичному, культурному та соціальному житті [116].

Дослідники, що у різний час займалися проблемами енергоефективної реновації, зазначають, що для вдалих архітектурних рішень з реновації історичного середовища потрібен ретельний історичний аналіз для розуміння оригінальної концепції і створення реновативного проекту, що буде узгоджений з усіма елементами середовища та не зашкодить його ідейному історичному образу. Зокрема, слід глибоко проаналізувати архітектурну еволюцію, урбаністичні правила, естетичні аспекти, особливості спадщини та просторові зв'язки між елементами споруди (наприклад пропорції, розмір, масштаб, відстані, тощо). [82].

Тому, процес дослідження історичної забудови розпочинається з історико-соціального аналізу, що необхідний для розуміння факторів, що в результаті визначають поточне енергоспоживання, а також для розуміння контексту, функції та процесів, що історично відбувалися у будівлі та визначили сучасний стан [151]. Коректний процес історичного аналізу передбачає збір усіх існуючих даних, що конкретніше – включають в себе інформацію про технологію будівництва, властивості матеріалів, геометрію, можливі пошкодження та

руйнування, а також еволюцію та нашарування змін протягом часу досліджуваного об'єкту або ж середовища [100].

Часто, в межах одного окресленого середовища, присутні добудови та перебудови окремих елементів, що накладаючись порушують структурну цілісність та первинний задум, а також містять окремо розташовані об'єкти з пізніших епох, що вкрай дисгармоніюють з композиційною цілісністю, проте їх формування у минулому було пов'язане суто з функціональною потребою.

Окремо слід виділити той факт, що історико-соціальний аналіз все ж охоплює ширший обсяг інформації, аніж звичайне архітектурне дослідження ділянки, тож ці два типи досліджень не слід плутати або ж утотожнювати. Архітектурне дослідження – це той процес, за якого узгоджуються форма та розміри архітектурних компонентів, вимірюються певні відстані, що слугуватимуть базисом для встановлення зв'язків та пропорцій, або ж проводяться повноцінні обміри, та виконується фотофіксація ділянки, у той час, як історико-соціальний аналіз виходить далеко поза ці межі.

Історико-соціальний аналіз досліджує не лише форму та розміри, але й історію, еволюцію та соціальне значення будівлі чи комплексу будівель, та соціальний та культурний взаємозв'язок з мешканцями міста, а також функціональні та історичні особливості та характеристики [44]. Варто виділити, що дослідження соціального значення та функціональних особливостей є не менш важливим, аніж визначення та уточнення планіметричних характеристик, оскільки в подальшому, це окреслює той вектор роботи, що дозволить підняти перспективність та конкурентоспроможність архітектурного середовища.

Історичне середовище часто розглядається як умовний «тягар» з точки зору обслуговування, у той же час, вважається, що майбутнє все ж належить новозбудованим та раціонально спланованим формам [59].

Історико-соціальний аналіз дозволяє дослідити ті складові та обставини, за яких історично складене середовище зможе реінтегруватися у міське середовище та стати активом у розвитку міста, при тім зберігаючи свою історичну пам'ять та автентичність [89]. Основна мета цього аналізу – не просто зібрати інформацію

про характеристики та цінність спадщини, а також переоцінити її з точки зору потенційних можливостей.

Слід також зазначити, що результат даного етапу дослідження переважно потребує доповнення за допомогою інструментальних досліджень та аналітичного моделювання, особливості яких викладено в наступних підрозділах. Оцінка отриманих даних слугує базисом для прийняття подальших рішень, стратегій збереження та впровадження енергоефективного розвитку, що будуть сумісними з історично складеним середовищем відповідно до «Принципів відновлення та Рекомендацій щодо аналізу та відновлення архітектурної спадщини» («ICOMOS/ISCARSAH») [63].

Рівень ретельності історико-соціального залежить від багатьох факторів, індивідуально обумовлених для кожного випадку окремо, та залежить як від рівня якості первинної структури, так і від наявності первинних і вторинних джерел, і в окремих випадках – від наявних фінансових ресурсів, доступних по проєкту. У більшості європейських країн подібний аналіз проводиться органами охорони спадщини і є основою для реєстрації будівель в офіційному списку пам'яток. Вимога щодо ведення реєстрів будівель, що охороняються, також закріплена в Європейських хартіях, як-от у Гранадській конвенції 1985 р [116].

Обсяг отриманих даних, при проведенні історико-соціального аналізу, не має чітко визначених меж. Дані про будівлі збираються під час натурного обстеження, та поєднуються з інформацією, отриманою з архівних джерел. Документація історико-соціального аналізу зазвичай починається з натурного обстеження об'єкту, з виконанням обмірів, як за допомогою традиційних методів, так і з допомогою передових 3D-технологій, як-от лазерне сканування, або ж фотограмметрія. Дослідження може доповнюватися супутніми мультидисциплінарними обстеженнями, науково-археологічними дослідженнями, тож в окремих випадках вимагається міждисциплінарна співпраця із залученням фахівців суміжних галузей: істориків архітектури, мистецтвознавців, археологів, будівельників тощо [116].

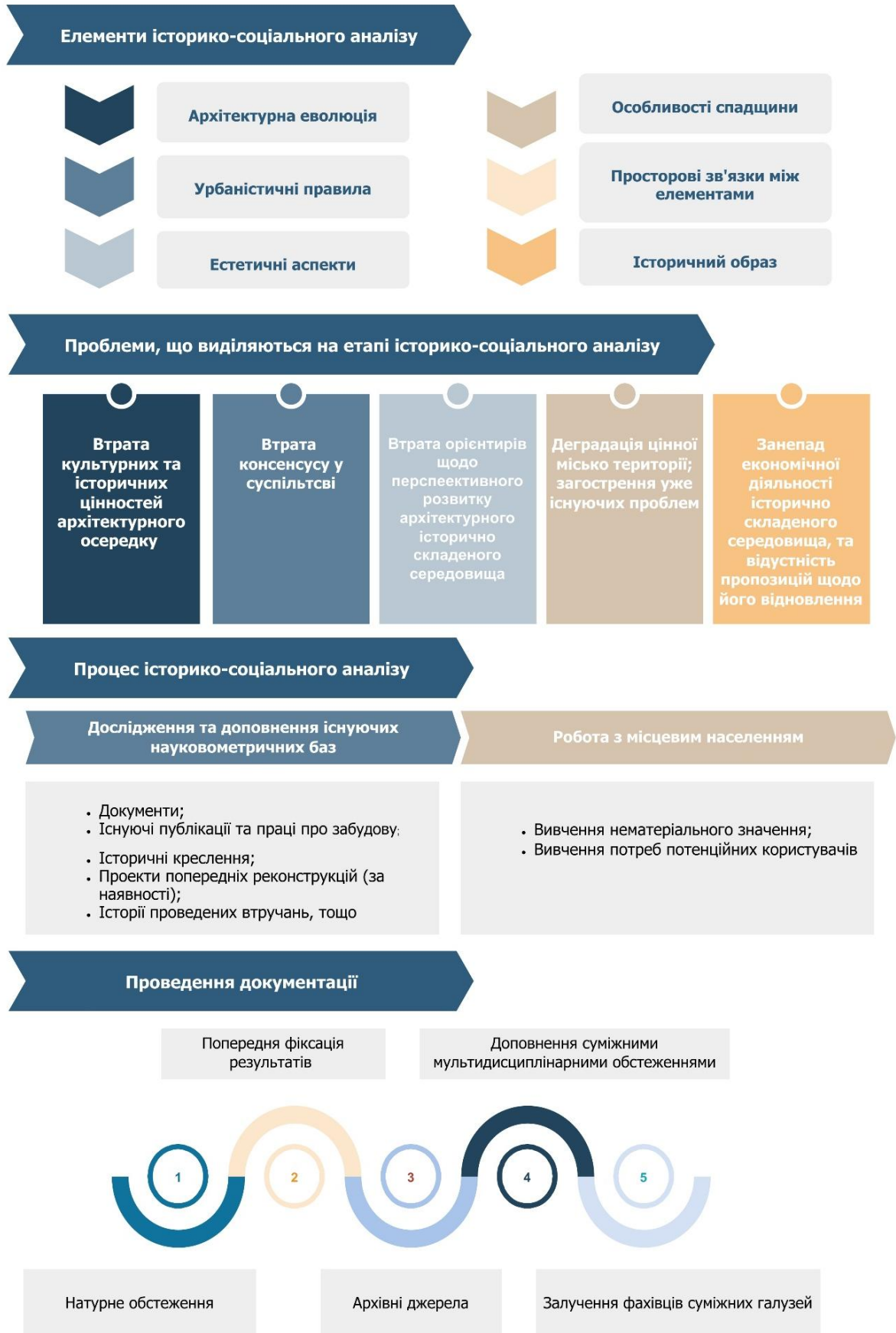


Рис. 2.3 Процес історико-соціального аналізу

Інформація, отримана з архівних джерел, часто потребує звірки з інформацією отриманої на місці. Наприклад, архітектор повинен виконати порівняльний аналіз оригінальних креслень фасадів, з поточним станом, аби, зокрема, виділити ті руйнування та зміни, які потребуватимуть уваги фахівців-реставраторів, фахівців з будівельної санації тощо. На практиці часто також буває наступне: якщо будівлі історично складеного середовища все ж мали фіксацію конкретних змін та втручань у вигляді добудов чи перебудов, то на ділі задокументовані проєктні дані та натурні, виміряні тим чи іншим методом показники можуть різнитися.

Щодо архівних джерел, слід зауважити, що пошук в архіві залежатиме також від запиту щодо необхідної інформації. В будівлях більш вагомого історичного значення подібний архів зазвичай організовано в межах адміністрації самої будівлі, проте це радше європейська традиція, мало поширена в Україні. В Україні, архівні джерела слід шукати в міських, муніципальних архівах, музеях, бібліотеках, або ж у спеціалізованих джерелах, як-от в проєктах НГО.

Також, як вже було вище зазначено, проєкти з реновації історично складного середовища, повинні включати в себе рамки економічних та соціально-культурних і політичних контекстів, сформованих місцевими, національними та глобальними планами та тенденціями розвитку [89]. Серед окремих джерел інформації для відповідного наповнення історико-соціального аналізу, слід додати аналіз попередніх планів збереження архітектурного середовища (за їх наявності), аналіз місцевих дискурсів населення, а також риторику зацікавлених у проєкті сторін, їх мотивації та можливості.

Поза тим, слід прийняти до уваги, що архітектурні ініціативи виходять суто за функціональні рамки і повинні сприяти загальному добробуту громадян. Громадянське суспільство здатне до забезпечення знаннями щодо сталості та розвитку спільноти на місцевому рівні. Залучення громадськості шляхом стратегії участі здатне також утворити пропозиції креативних рішень, що ґрунтуються на знаннях місцевої специфіки. Основна мета – ініціювати діалог з громадою на тему прагнень мешканців щодо оновленого середовища.

Успадковані Україною тоталітарні принципи радянської системи передбачали відсутність голосу, впливу та відповідальності громадянина при ухваленні рішень щодо втручань в історично складене середовище. Наявні в Україні громадські антизабудовні протести, спрямовані на збереження історичного середовища, свідчать про достатньо високий рівень свідомості та активності громадян, аби дати їм змогу висловити свою думку та можливість мати певний вплив на прийняття рішень. Посилення впливу мешканців міста може здійснюватися за допомогою інструментів громадського представництва [153].

Щодо зацікавлених у проєкті сторін та їх мотивації – слід також згадати про інвесторів та стейкхолдерів. Це та сторона, яка в ході громадських дискусій отримує найбільше негативу. Проте також, на сьогоднішній день, в умовах повномасштабного вторгнення, це також та єдина сторона, котра власне має можливості та потенціал на капіталовкладення у подібні проєкти. Тому виважений аналіз функціонального розвитку середовища, та можливості формування власне нової забудови, що створить новий продажний об'єм – створить ту потенційну окупність та прибуток, що зацікавить інвестора у перспективності вкладень саме в історично складене середовище, а не у нове капітальне будівництво.

Історико-соціальний аналіз, у свою чергу, може також слугувати містком до взаєморозуміння зацікавлених сторін – громадськості, стейкхолдерів та інвесторів – оскільки виокремлений на даному етапі дослідження функціональний базис дасть змогу створити модель менеджменту території, що слугуватиме вектором розвитку та ставитиме певні обмеження та зобов'язання перед інвесторами, і окремі аспекти якої вже будуть предметом уточнення.

Через реалії повномасштабного вторгнення, збереження місцевого історичного середовища не є головним пріоритетом в бюджеті органів місцевої влади, у той час, як перспективний розвиток історичного середовища, зокрема шляхом створення нових енергоефективних будівель, і до повномасштабного вторгнення не був предметом фінансування з державних джерел, і, навіть за

присутності замовлення від органів влади, виконання та фінансування покладалось в основному на девелоперів та приватні компанії.

Органи місцевої влади, при тім, приймають роль «супервізора» та здійснюватимуть регуляторну функцію. Їхньою метою є захист спадщини за допомогою правової системи та місцевої юрисдикції. Слід також зазначити, що роль «супервізора» можуть також виконувати місцеві приватні інституції та об'єднання, що займаються охороною спадщини, якщо їхня діяльність та повноваження будуть відповідно акредитовані місцевими органами влади.

Одним з методів здійснення відповідної регуляторної діяльності може слугувати створення документів чи правил, що визначатимуть обмеженість втручань та дій, що може здійснюватися в межах конкретного історично складеного середовища, та визначатиме зобов'язання перед девелоперами. Цей документ, сам по собі, розвиватиме попередньо виконані дослідження історико-соціального аналізу, та базуватиметься на місцевих муніципальних програмах та проєктах щодо розвитку території. Правила та положення, викладені у документі, повинні бути чіткими та прозорими для усіх учасників процесу.

Можливість створення відповідних документів покладатиме на супервізора подвійну роль: і щодо створення та затвердження регуляторних засад, і щодо їх імплементації на практиці при роботі з конкретним складеним середовищем, відповідно. Водночас, слід зазначити, що політика регулювання історично складеного середовища повинна бути достатньо гнучкою, аби адаптуватися під сучасні стандарти.

Використані при історико-соціальному аналізі документи та джерела повинні бути процитованими відповідно до наукових стандартів.

Поруч з історико-соціальним аналізом, доцільним є застосування методів інструментального аналізу, що передбачають проведення натурних вимірювань, обстежень, дослідження стану матеріалів та інженерних систем із використанням неінвазивних і напівдеструктивних методик, спрямованих на визначення причин тепловтрат, деградації конструкцій та потенціалу підвищення енергоефективності будівлі.

Процес енергоефективної реконструкції історичної забудови починається зі збору даних для розуміння контексту і суті будівлі, поточного стану, технічних характеристик та дослідження енергоспоживання і його зв'язку з фізичними параметрами та процесами в будівлі. Інструментальний аналіз передбачає дослідження будівлі на місці (*in situ*), для більш інформативного дослідження сутності історично складеного середовища, існуючих факторів та практик, що негативно впливають на енергоефективність, та для подальшого підбору заходів та практик для підвищення енергоефективності [5].

Загалом, процес інструментального аналізу має на меті не лише оцінити поточний стан будівлі та її елементів, а й дослідити окремі механізми та причини, що призводять до занепаду. Останнє вимагає розгляд трьох груп факторів: екологічних, ендогенних та самодеструктивних. Екологічні фактори здебільшого пов'язані з впливом на будівлю навколишнього середовища та процесів експлуатації, та стосуються хімічних, біологічних та механічних змін. Ендогенні фактори впливають внаслідок несумісності певних матеріалів. Самодеструктивні – пов'язані з початковою властивістю будь-якого матеріалу чи елемента до занепаду та деградації, а також, пов'язані з наслідками попередніх невдалих реставраційних заходів [53].

Безпосередній вимір показників, пов'язаних з мікрокліматом всередині приміщень історичної забудови, є необхідним при роботі з енергоефективною реновацією подібних будівель. Визначення мети виміру, параметрів мікроклімату для дослідження, та вибір відповідних локацій для вимірів залежить від кожного індивідуального об'єкту під реновацію, проте встановлення значень таких чинників як температура чи вологість приміщень при роботі саме з історичною забудовою є необхідним, оскільки безпосередньо впливатиме на підбір рішень та стратегій [14].

Методики вимірів при аналізі поточної енергоефективності характеризуються відмінністю у підходах при зборі даних. Напівдеструктивні методики передбачають застосування малоінвазивних методів для дослідження поточного стану конструкцій, систем, матеріалів, елементів. Число втручань при роботі з

історичною забудовою повинне бути мінімізоване, а елементи споруди, що піддаються діагностиці не повинні належати до тих, що володіють істотною цінністю [12].

Основні аспекти для визначення якості та стійкості конструктивних елементів вимагають дослідження стану та засоленості стін, якості та типу з'єднань у конструкціях, властивостей і стану декору та архітектурних елементів [107]. Існуючі інженерні системи передбачають ремонт за доведеної доцільності їх подальшої експлуатації [85], проте повинна бути проведена оцінка їх потенційної кооперації з відновлюваними джерелами енергетики для підвищення класу енергоефективності будівлі.

Недеструктивні методики полягають у застосуванні неінвазивних тестів для дослідження поточних характеристик чи архітектурно-планувальних особливостей, наприклад, для аналізу мікрокліматичних факторів – визначення містків холоду опору теплопередачі конструкцій, аналізу циркуляції повітряних мас, якості повітря, інсоляції приміщень тощо. Неінвазивні вимірювання можуть бути проведені за допомогою ряду портативних електронних девайсів, на кшталт пірометрів, психрометрів, люксометрів тощо. Особливої уваги заслуговують тепловізійні інфрачервоні камери, оскільки дозволяють спродувати зображення температур поверхонь, де кожна ділянка забарвлена відповідно до наявного температурного інтервалу [14].

Вимірювальні дослідження можуть також включати в себе встановлення на контрольних точках мікрокліматичних реєстраторів даних для обчислення варіацій параметрів мікроклімату протягом певного проміжку часу та впливу окремих факторів [78]. Аналітична інформація, отримана за допомогою інструментальних досліджень, може бути класифікована за джерелом її отримання: з елементів об'єкту, середовища тощо [126].

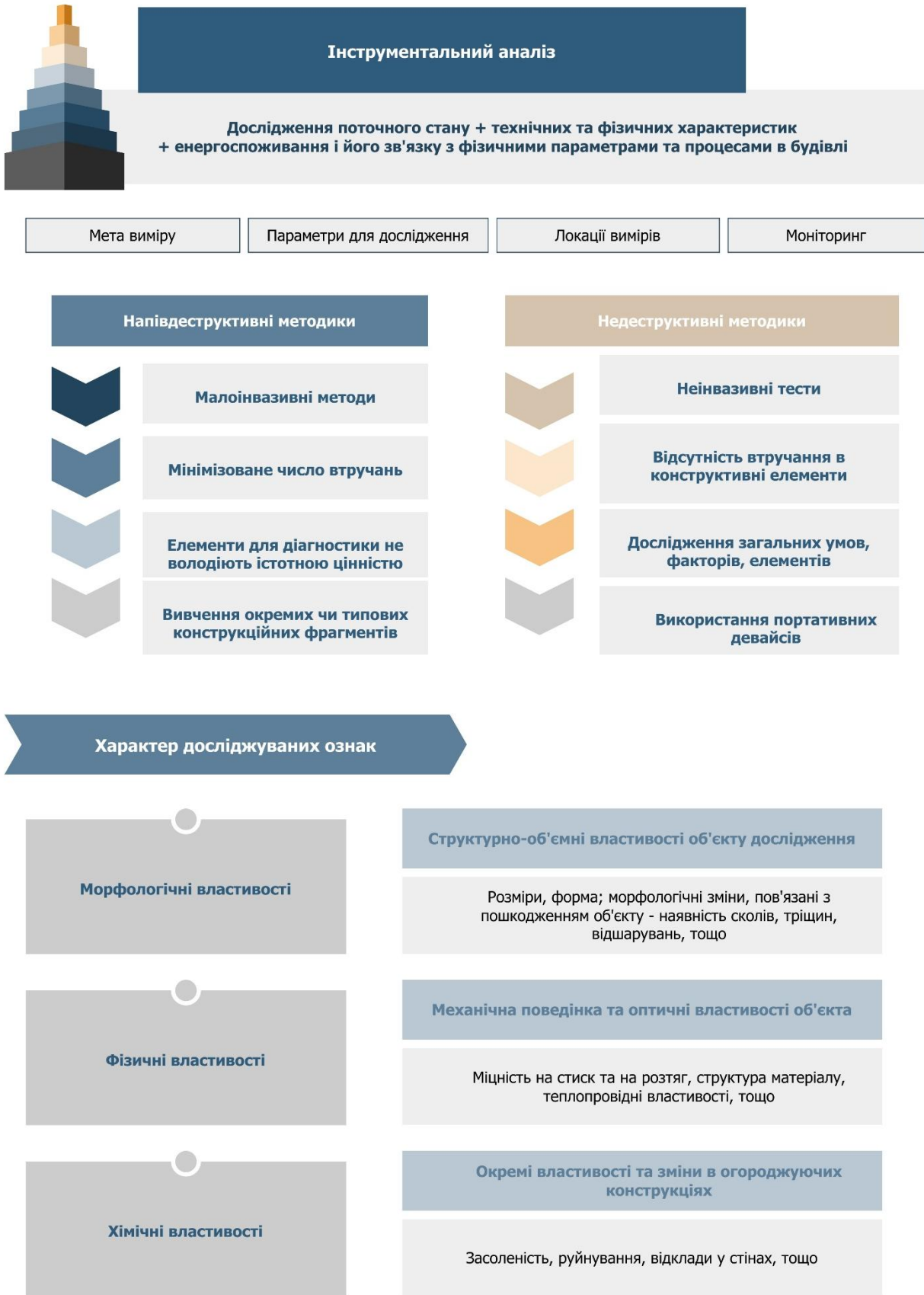


Рис. 2.4 Особливості інструментального аналізу

Окремим важливим завданням для прийняття ефективних рішень зі збереження об'єкта та покращення його показників є здійснення моніторингу характеристик. Моніторинг температурних та вологісних показників, якості повітря, полутантів у повітрі (за потреби) та інше – є обов'язковими заходами задля прийняття подальших рішень щодо забезпечення оптимальних умов [53].

Інструментальні дослідження історичної забудови передбачають мультидисциплінарний характер та залучення спеціалістів суміжних галузей.

Загальні принципи роботи при інструментальному аналізі історично складеного середовища, повинні включати наступне:

1. Надання переваги недеструктивним дослідженням задля забезпечення цілісності об'єкту.

2. Якщо є потреба все ж у проведенні напівдеструктивних методів виміру, то слід передбачити універсальність потенційно отриманої інформації, аби дослідити характеристики зразка матеріалу чи об'єкту з мінімальної кількості проб, обробок та перевірок, та передбачити можливість відновлення основної, чи найбільш ціннісної частини зразка після проведення досліджень [36].

Серед інструментальних досліджень для архітектора найбільший інтерес представляють ті, які вивчають морфологічні відомості про будівлю та дають інформацію про розміри, форму, наявність пошкоджень тощо. Дослідження складеного архітектурного середовища може бути проведено як щодо загального об'єму середовища, так і певної частини поверхні, або ж мікророззка чи поперечного зрізу [99].

Отриману за інструментального аналізу інформацію можна згрупувати за типом та характером досліджуваних ознак:

- морфологічні властивості, як вже було зазначено, описують структурно-об'ємні властивості об'єкту дослідження, та, зокрема, морфологічні зміни, пов'язані з пошкодженням об'єкту – сколи, тріщини, відшарування тощо;

- фізичні властивості вивчають механічну поведінку та оптичні властивості об'єкта, а саме міцність на стиск та на розтяг, структуру матеріалу, характеристику пігменту тощо [36];

-хімічні властивості, що цікавлять архітектора, пов'язані з станом стінових конструкцій, засоленістю та відкладами у стінах тощо.

Як вже було зазначено, історичні будівлі через їхню делікатність (традиційні технології будівництва, використання місцевих матеріалів тощо) часто не дозволяють при дослідженні зібрати достатні для дослідження зразки. Саме тому, при інструментальному аналізі перевагу слід надавати неdestructивним методикам дослідження поточного стану будівель.

Одним із варіантів неdestructивних методик є також застосування вібраційних тестів, котрі виконуються за допомогою акселерометрів – високочутливих пристроїв, для вимірювання вібраційних характеристик. Вібраційні тести виконуються за допомогою випробування на віддачу вібрацією від навколишнього середовища, та дозволяють визначити жорсткість конструкції шляхом вимірювання кількості рухів, створених зовнішніми джерелами [7].

Іншим поширеним неdestructивним методом є застосування термографії – методу дослідження, що використовує інфрачервоні промені для отримання зображення розподілу тепла на поверхні, та виконується за допомогою тепловізійних камер. Дані, котрими послуговується процес термографічного дослідження, включають в себе відносну вологість, атмосферну температуру, температуру відбиття, коефіцієнт випромінювання тощо [121].

Тепловізійні камери фокусують на датчик оптичне випромінювання, що його виділяє об'єкт дослідження. Випромінювану електромагнітну енергію камера конвертує в електронний сигнал, у вигляді різноколірного цифрового зображення. Кожен колірний тон в отриманому цифровому зображенні представляє зафіксований розподіл температури на поверхні об'єкта [111].

Температурні фрагментації на отриманих зображеннях дозволяють визначати дефекти: тріщин, сколів, місць скупчення вологості, витоку тепла, містків холоду та ін [5]. За допомогою більш детального аналізу отриманих зображень та тепловізійного моніторингу поверхні в різних умовах – можна отримати більш

детальне розуміння про першопричини та поведінку дефекту, та підібрати оптимальне та ефективне рішення для його подальшого усунення.

Термографія широко застосовується як інструмент оцінки поточного стану енергоефективності будівель, оскільки дозволяє зафіксувати ті причини витоку енергії, що недоступні за звичайного візуального огляду. Йдеться про виявлення втрат тепла та витоку повітря в огорожуючих конструкціях, негерметичні місця в ізоляції, недоліки опалювальних та вентиляційних систем, та проблеми з інженерним обладнанням. Оптимізація виявлених містків холоду та енерговтрат впливає на зменшення енергопотреб будівлі та покращення її енергоефективних характеристик.

Якщо термографія використовується для виявлення енерговтрат через недоліки в конструкціях, то методика вимірювання теплового потоку має на меті дати виявити теплопровідні характеристики існуючих конструкцій, тобто виявити коефіцієнт теплопередачі конструкції. Даний спосіб дозволяє виявити коефіцієнт теплопередачі емпіричним методом, а не за допомогою теоретичного припущення на основі сталих, загальновідомих значень характеристик подібних конструкцій, а отже – отримати більш точний результат.

Якщо йдеться про застосування сучасних будівельних матеріалів у новому будівництві, то значення опору теплопередачі матеріалу є зазначене в базових характеристиках. Однак в історичних будівлях, частіше застосовувалася або широка кладка в декілька рядів, або колодязна кладка з заповненням внутрішньої частини конструкції, чи інші традиційні конструкції, тож важливо в таких випадках перевіряти теплопередачу конструкцій на місці (*in situ*).

Процедура виміру опору теплопередачі конструкцій виконується за допомогою спеціальних приладів, апаратів для вимірювання теплового потоку (англ. - Heat Flow Meter, або ж HFM), а порядок проведення подібного дослідження зазначений в стандарті ISO 9896 [5][142]. Температурні датчики аналізують умови навколишнього середовища та температурну різницю між внутрішньою та зовнішньою сторонами досліджуваного об'єкту, зв'язуючи тепловий потік з електричним сигналом.

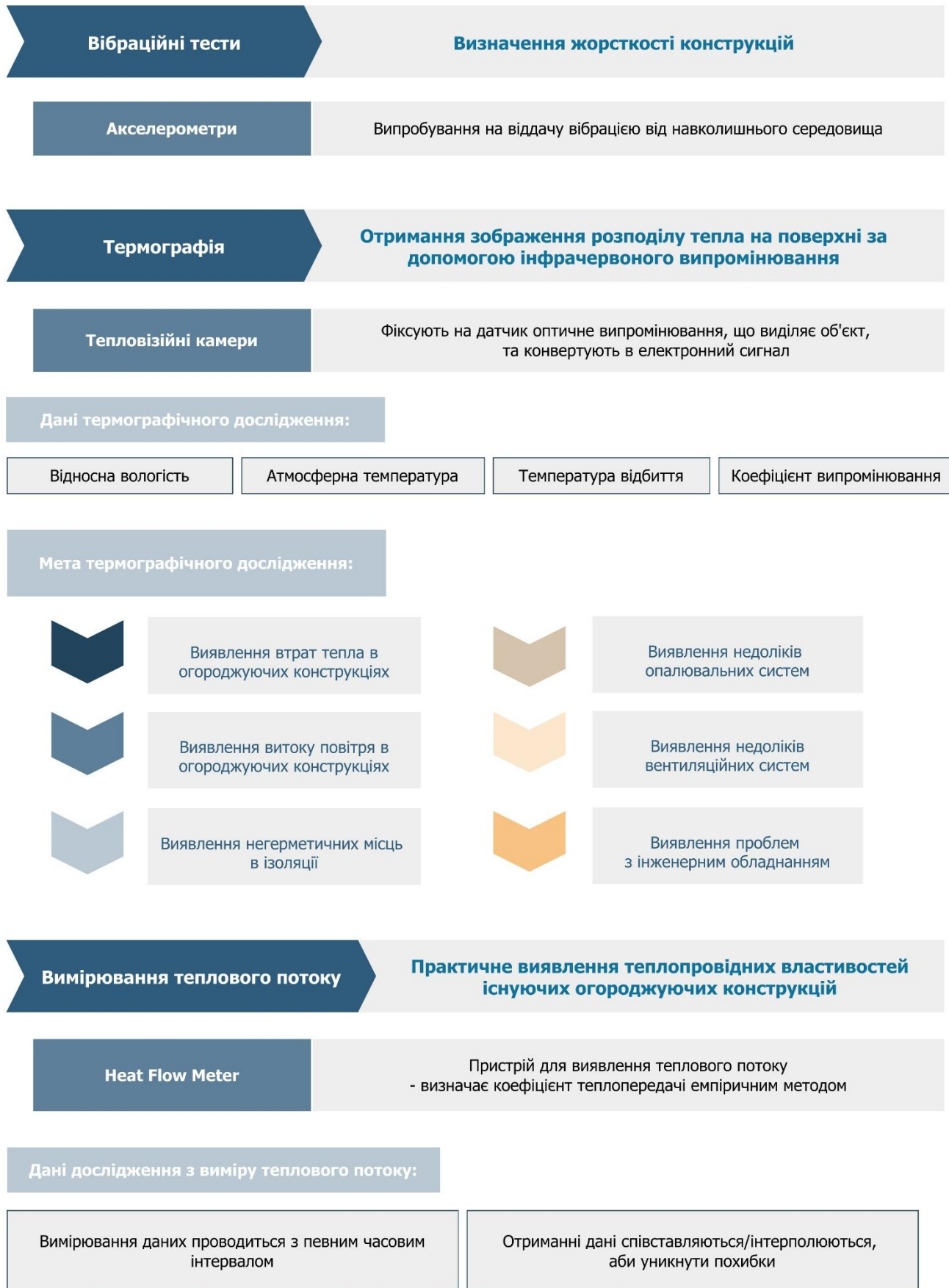


Рис. 2.5 Недеструктивні методи дослідження історичних будівель

Слід зазначити, що вимірювання даних про опір теплопередачі конструкцій слід проводити з певним часовим інтервалом, та співставляти/інтерполювати отримані результати, аби уникнути похибки в отриманому результаті, спричиненою залежністю від конкретних короткотривалих умов.

Наступні представлені недеструктивні дослідження фіксують не лише певні енергоефективні характеристики, а й досліджують планіметричні та об'ємно-просторові властивості будівель. Часто також є потреба у доповненні інформації, отриманої за попереднього етапу, історико-культурного аналізу, оскільки в більшості випадках, цей об'єм даних не є достатнім та повним, тому потребує додаткових обмірних досліджень. Їх можна проводити як за допомогою так званих «прямих» архітектурних методів, так і доповнювати двовимірні дослідження «триангуляцією» [44].

Так звані «прямі» архітектурні обмірювальні методи зазвичай виконуються за допомогою флексометрів, вимірювальних стрічок, лазерних рулеток, калібрів тощо. При цьому, не завжди конфігурація та доступність певних елементів будівлі будуть оптимальними для безпосереднього виміру показників, тож часом від архітектора вимагається приймати достатньо швидкі рішення щодо отримання того чи іншого показника, за допомогою прив'язки та просторової орієнтації досліджуваного об'єкту відносно інших оточуючих елементів або ж загальних пропорційних кореляцій.

Після двовимірних або ж «прямих» обмірів, в багатьох випадках доцільно перевіряти розміри за допомогою «триангуляції». За допомогою менш традиційних для архітектора інструментів – теодолітів, нівелірів, висотомірів (альтиметрів), вимірюються часткові та загальні висоти (йдеться про альтиметричну зйомку), товщину вікон та стін [44], і отримані таким чином дані співставляються з планіметричною зйомкою. Така зйомка вимагає залучення фахівців із суміжних галузей.

Окремий тип досліджень, що характеризуються неінвазивністю, та водночас відкривають перед дослідником великий пласт інформації щодо будівлі або ж

архітектурне середовище – пов'язані з оцифруванням, або ж лазерним 3D скануванням та/або фотограмметрією.

Суть даних методів полягає у фіксації візуальних структур за допомогою лазерного сканера або ж серії фотографій. Ця технологія захоплює тисячі та мільйони точок даних, розпізнаючи та вимірюючи відстань поміж інструментом (лазером або ж фотоапаратом) та поверхнями конструкції. Потім ці точки даних використовуються для створення тривимірної хмари точок, створюючи цифрову копію структури спадщини. Отримана таким чином інформація в подальшому обробляється спеціальним програмним забезпеченням, створюючи на основі цифрової хмари точок твердотілу модель, з можливістю подальшої оптимізації.

Дані інструментальні дослідження дозволяють вивчити структуру будівлі чи середовища з усіх боків, фіксуючи найменші деталі, а також промоніторити в динаміці найменші зміни. У всьому світі лазерне сканування та фотограмметрія також активно використовуються внаслідок гострої необхідності у документації спадщини, що постраждала внаслідок природніх та техногенних катастроф [9].

Слід зазначити, що дані методи наразі уже також широко та повсюдно використовуються в Україні, задля документації та збереження української архітектурної спадщини, що постраждала внаслідок російських обстрілів. Дані ініціативи проводяться за сприяння моніторингових місій ЮНЕСКО, а їх результати використовуються у моніторингу та оцінці стану пошкодженого об'єкта, та сприяють у подальшій розробці адаптивних та ефективних стратегій з відновлення.

Лазерне сканування передбачає отримання точної інформації про геометрію об'єкта, визначеної за допомогою лазерного сканера. Даний метод є більш коштовним через вартість самого власне інструмента, та передбачає більшу кваліфікацію дослідника, що лазером послуговується. Проте з-поміж переваг даного методу слід виділити більшу точність отриманої інформації. Завдяки специфіці роботи, лазерний сканер також дозволяє забезпечити більш високу швидкість при аналізі об'єкту та більшу щільність просторових даних.



Рис. 2.6 Методи документації історичного середовища

Фотограмметрія, у свою чергу, послуговується більш доступним для пересічного користувача інструментарієм, як задля збору інформації про об'єкт, так і при подальшій автоматизованій обробці за допомогою програмного забезпечення. Фактично, дослідник може послуговуватися як недорогим фотоапаратом (напр., старішими моделями професійних та напівпрофесійних Canon та Nikon, аби з хорошою роздільною здатністю матриці; також для більшості випадків буде достатньо фокусної відстані у 15-55 мм), так і буквально смартфоном чи планшетом.

Доступні напівпрофесійні камери володіють високою просторовою роздільною здатністю із низьким цифровим шумом зображення, а отже здатні забезпечити ефективний збір даних, задовольняючи при тім високі вимоги до точності. При використанні цифрового сканування на основі фотограмметричного методу, основним недоліком часто є вихідний результат, де отримані поверхні є з низькою якістю текстур, що може бути результатом невдалого процесу зіставлення зображень [120].

Як вже було зазначено, подальша обробка фотографій та перетворення їх у хмару точок відбувається у спеціалізованому програмному забезпеченні. Серед них – як безкоштовний та доступний для інтуїтивного вивчення користувачем, як-от Reality Capture чи Autodesk Recap PRO, так і більш складний та професійний софт, що зокрема послуговується витягом з геоданих – як-от CloudCompare, OpenScan Tools, Trimble Geospatial, чи DroneDeploy. В подальшому, хмара точок конвертується у тверdotілий об'єкт, з різною деталізацією та групуванням елементів залежно від поставлених задач. В контексті цифрової фіксації історично складеного середовища, ця технологія дозволить створити якнайточнішу з точки зору геометрії базу для подальшої роботи.

Окрема важлива інформація, що отримується шляхом лазерного сканування та фотограмметрії – передбачає отримання детальних вертикальних та горизонтальних перерізів, що дозволяють визначити структурні деформації та сейсмічні зміщення будівель, кривизну поверхні фасадів, що дозволять, за

допомогою нашарувань матеріалу у певних місцях, визначити потенційні руйнування та попередньо проведені реновативні заходи, а також оцінити їх ефективність.

Окрім детального цифрового опрацювання досліджуваного об'єкту в контексті високої роздільної здатності, методи лазерного сканування та фотограмметрії фіксують не лише геометрію, а й видають детальне зображення елементів поверхонь та текстур. Сучасні вдосконалені алгоритми дозволяють опрацювати об'єкт таким чином, аби отримати інформацію з кожного пікселя на зображенні та, відповідно, записати дані про кожну точку об'єкту в межах заданої щільності сканування [9]. Як результат, можна отримати дуже щільні та текстуровані кольорові хмари точок для подальшого опрацювання [58].

Однак, обидва методи мають один і той же недолік: отриманий результат є цілісний, і не може бути розкладений на частини без допомоги спеціального програмного забезпечення або ж окремих маніпуляцій при твердотілому моделюванні [127]. Поокремі складні елементи також неможливо відсканувати таким чином, аби отримати в результаті точки з їх частин. Наприклад, подальше моделювання вікон матиме обмежену інформацію щодо товщини рами, глибини скління, тощо.

Також, вони не можуть реєструвати невидимі для приладу частини, наприклад ті, що знаходяться у важкодоступних місцях [44]. Отримання інформації про дах також є проблемою, оскільки не завжди поруч є вищі за поверховістю будівлі, або ж доступ на поверхи з необхідним кутом огляду. Рішенням може бути застосування дронів, проте в умовах повномасштабного вторгнення, польоти дронів є суворо обмежені та потребують спеціальних дозволів.

При плануванні будь-яких робіт в межах історично складеного середовища, важливим є також дослідити наявність дефектів та сколів на елементах фасаду, та запланувати їх грамотне відновлення, а також проаналізувати переважаючі будівельні та оздоблювальні матеріали. Ремонтні роботи фасадних та оздоблювальних елементів, відповідно, уже існуючих будівель, повинні

плануватися з урахуванням використання тих сучасних матеріалів, котрі будуть за своїми візуальними характеристиками максимально наближеними до тих, що закладені в оригінал[40]. У випадку формування нових енергоефективних будівель в історично складеному середовищі, подібний аналіз дозволить підібрати комплементарні матеріали для опорядження, не порушуючи гармонійної композиції середовища.

Окремим типом досліджень буде аналіз містків холоду поміж елементами та структурами середовища. Слід зазначити, що архітектор повинен зважити та врахувати наявність нависаючих та консольних конструкцій, оскільки довжина моста холоду в цьому місці буде еквівалентна глибині вставленої у будівлю частини. Оптимізація енергетичного сектору архітектурного середовища здатна вирішити не тільки економічні проблеми, а й неполадки з безперервністю поставок та сприяти скороченню споживання енергії в цілому.

На практиці, однак, часто бувають випадки, коли проведення певних інструментальних вимірювальних досліджень, зокрема спрямованих на визначення енергопотреб та енерговтрат, унеможливлено через ті чи інші причини, тоді – звичною альтернативою є використання галузевих стандартів для будівельних матеріалів та систем, що застосовувались у час будівництва будівлі, усереднюючи отримані показники до еталонних, притаманних будівлям подібного типу [53]. Визначення поточних енергопотреб історично складених будівель повинні враховувати в себе забезпечення усіх потреб на функціонування: опалення, охолодження, електроенергію, вентиляцію, функціонування приладів, тощо. Важливо в подальшому вжити заходів щодо уникнення тепловтрат через негерметичність конструкцій, вузлів, мости холоду і т. д.

Однак, слід зазначити, що імплементація заходів з підвищення енергоефективності історично складеного середовища потребує також обширного енергетичного та архітектурного аналізу історичних будівель за допомогою енергетичного моделювання та інструментів аналітичної імітації, котрі описані в наступному підрозділі дисертаційного дослідження [123].

2.3 Методи обчислювального моделювання енергоефективних будівель

Наступним етапом в дослідженні поточної енергоефективності історичної забудови є застосування методик аналітичного моделювання, базованого на інформації, отриманій за попередніх етапів, та проведення ряду тестів, для уточнення структури будівлі. При енергоефективній реновації історично складеного середовища важливо досягти компромісу поміж економічними затратами на енергоефективні заходи, та потенціалом енергозбереження, встановлення теплого комфорту та покращенням параметрів комфорту та аспектів, пов'язаних із перебуванням та діяльністю користувачів будівлі. Це стає можливим завдяки використанню інструментів симуляції, методів візуалізації та вимірювань, що лежать в основі подальшої верифікації будівлі, а також обчислення потенційного профіту від капіталовкладень.

Хоча обчислювальні інструменти, застосовані за такого дослідження, здебільшого послуговуються двовимірним макетуванням даних, що є недостатнім для поставлених задач дослідження забудови, а отже не можуть достатньо чітко обчислити процеси, що відбуваються у тривимірній структурі будівлі [12]. Проте сучасний арсенал для роботи архітектора містить розширені можливості завдяки інструментарію параметричного обчислення та моделювання.

Слід зазначити, що методики аналітичного моделювання, у своєму різноманітті програмного забезпечення та плагінів – розширень, дозволяють автоматизувати процес проектування, а отже – впорядкувати та оптимізувати чимало трудомістких процесів за допомогою автоматизації. [75].

Аналітичне моделювання – це по суті набір обчислювальних методик, що створюють математичні моделі на основі історичних, кліматологічних та планіметричних даних, задля швидкого та точного прогнозування поведінки архітектурного середовища. Незважаючи на перспективність та різноплановість цих інструментів, їх все ж непросто використовувати на ранніх стадіях проекту, оскільки вони потребують достатньо детальної інформації про будівлю, котра

стає доступна в необхідному обсязі лише після проведення певних попередніх досліджень, та більш точно окреслюється на пізніших етапах роботи над проєктом [119].

Параметричний аналіз, в сфері архітектурної реконструкції, дозволяє архітектору збільшити потенціал застосування інноваційних матеріалів та технологій при реконструкції та модернізації як будівель та споруд, так і архітектурного середовища. Методологія параметричного моделювання використовує алгоритми та обчислювальні інструменти для створення складних геометричних форм, оптимізації конструктивних та енергоефективних характеристик і підвищення ефективності будівельних процесів [101].

Параметричне моделювання базується на даних, зв'язки та зміни поміж якими відбуваються миттєво. Можливість візуалізації даних складеного, попередньо сформованого середовища, при застосуванні параметричного софту дозволяє встановити чіткий зв'язок між аналізом даних і дизайном. Наприклад, параметрична платформа Grasshopper, на базі програмного забезпечення Rhino, послуговується шарами та елементами даних, згенерованих з базової геометрії окремих деталей будівлі. При оптимізації базової геометрії та показників, параметрично пов'язані деталі, елементи та компоненти будівлі, автоматично оновлюються [101].

За допомогою генеративних алгоритмів та взаємодії поміж собою окремих параметрів та факторів, можна вибудувати той логічний процес, який дасть користувачеві змогу отримати результат за відносно короткий час, з можливістю достатньо швидкої та зручної оптимізації, за рахунок зміни окремих конкретних параметрів та їх характеристик.

При параметричному аналізі власне енергопотреб архітектурного середовища, при кодуванні вхідних параметрів беруться до уваги фактори, як пов'язані з самими власне будівлями (форма, орієнтація, типи та властивості огорожуючих конструкцій, числові значення продуктивності наявних систем опалення та охолодження, інших інженерних систем тощо), так і фактори навколишнього середовища (температура, атмосферні опади, вологість повітря,

кліматична зона, вітер, кількість сонячних днів, тривалість опалювального сезону тощо) [94].

Важливо розуміти, як кожен з факторів взаємодіє разом з суміжними факторами, та які його значення впливають на результат. Наприклад, матеріали огорожувальних конструкцій впливають і на показники енергопотреб, і на параметри комфорту, в т.ч. температурно-вологісний режим всередині будівель, і на потенціал до збереження власне історичної будівлі, через міцність, довговічність, та стійкість до впливу від навколишнього середовища. Орієнтація приміщень будівлі, відношення площі вікон до стін, конфігурація та глибина приміщень, наявність затінення від сонцезахисних пристроїв та/або елементів навколишнього середовища – дають змогу оцінити природне освітлення тощо.

Параметричне моделювання пропонує користувачеві якнайбільш всеосяжний контроль над робочим процесом, оскільки для параметричного дизайну архітектор змушений перше подумки, а тоді практично – у вигляді нодів - розкласти проблему на складові та окремі параметри з їх значеннями, а потім, при взаємодії з ними – візуально відстежувати процес оптимізації. Застосовуючи інструменти параметричного моделювання, користувач може визначати та впроваджувати у проєктний процес дизайну окремі правила та концепції, що пов'язуватимуть поміж собою окремі вхідні параметри та геометрію, та визначатимуть поведінку складових системи, створюючи початкову сукупність згенерованих рішень [114].

Одним із плагінів програмного забезпечення вищезгаданого Grasshopper є Ladybug. Це параметричний інструмент для дослідження та дизайну споруд, що оперує параметрами зовнішнього середовища, дозволяє дослідити радіаційне навантаження на поверхні будівлі, побудувати розу вітрів, та загалом оперувати формотворчим потенціалом забудови згідно зовнішніх чинників. Ladybug базується на стандартах та методах щодо енергетичної симуляції будівель, котра застосована в EnergyPlus – консольній програмі для визначення енергопотреб будівель. Якщо EnergyPlus аналізує дані, та подає вхідну та обчислену інформацію у вигляді текстового файлу, то Ladybug використовує інтерактивну

візуалізацію даних, використовуючи не лише двовимірне, а й тривимірне макетування даних. Ladybug аналізує метеорологічні дані, та їх зв'язок безпосередньо з досліджуваними будівлями та з навколишнім середовищем [61].

Ще один плагін, Honeybee, оперує енергетичними процесами всередині будівлі, та володіє більш широким та складним діапазоном інструментів ніж Ladybug. Якщо Ladybug наближений до EnergyPlus, то оперативна база Honeybee поєднує в собі також Daysim, Radiance та Openstudio. Аналітичне моделювання на базі даного розширення для плагіну вимагає від архітектора розуміння комплексності погодних та кліматичних чинників, та взаємодії енергетичних процесів всередині будівель, оскільки для одержання валідних результатів необхідна буде оптимізація вхідних даних. Honeybee надалі також буде корисним для підбору та аналізу підібраних стратегій, оскільки дозволяє достатньо швидко змінити поточні властивості моделі будівлі згідно прийнятих рішень, та оцінити результати.

Ladybug та Honeybee поєднують в собі операційну багатозадачність за рахунок різнопланових та варіабельних компонентів, поєднаних у кумулятивному ядрі програмного забезпечення. Таким чином, ці плагіни дозволяють користувачеві обчислити в межах однієї досліджуваної моделі та одного варіабельного скрипта безліч складових – як споживання енергії, так і сонячне випромінювання, освітлення, вплив вітру, температуру, тепловий комфорт, вологість тощо. Генеративні алгоритми плагінів Grasshopper дозволяють достатньо швидко здійснити оптимізацію форми моделі, та, відповідно, її параметрів та продуктивності [61].

Метеорологічні дані в Ladybug та Honeybee, як і стандартно, базуються на середніх багаторічних значеннях, та аналізують зовнішню температуру, температуру точки роси, сонячну радіацію на горизонтальних поверхнях моделі, напрямом, швидкість та вплив вітру та інше. Перед початком роботи, слід дослідити існуючі кліматичні дані, та завантажити в програму відповідний файл з інтерактивної erw мапи. Задаючи додатково дані про параметри самої будівлі, очікуваних параметрів комфорту та експлуатаційних характеристик, програма

видає баланс енергоспоживання, та діаграму часової інтерполяції теплового комфорту. Визначаються оптимальні, зажаркі та захолідні варіації, для прийняття відповідних подальших рішень щодо забезпечення достатнього опалення та охолодження будівлі, задля досягнення оптимальних температурних умов всередині будівлі.

Отже, програмне забезпечення встановлює кількісні зв'язки між формою та характеристиками будівлі, навколишнім середовищем та результатами метеорологічного аналізу, котрі можуть бути оптимізовані через контрольовані змінні параметризованої моделі. Застосування різних комбінацій змінних призведе до різних варіантів результату, і дасть змогу визначити, на основі безпосереднього кількісного порівняння, оптимальність та доцільність тих чи інших потенційних практик.

В контексті формування нових енергоефективних будівель в історично складеному середовищі – параметрична варіативність моделювання дозволить достатньо швидко проаналізувати, як та чи інша новостворена форма впливатиме на енергетичні показники архітектурного осередку. Оскільки цільові параметри кожного проєкту різняться, і залежать від поставлених задач та завдання на проєктування, то їх можна в подальшому доповнювати так званими «субоптимізаційними» цілями, послідовно покращуючи згенеровану форму будівлі [61].

Чим більший обсяг розрахунку, кількість заданих та проаналізованих даних та змінних, тим більша, відповідно, вибірка потенційних результатів, а отже, потенційних рішень. Додатково, також є можливим застосування так званої «ре-оптимізації», коли на основі попередньо підібраних рішень, користувач задає в алгоритм моделі нові операбельні змінні та нові адаптивні параметри, та, відповідно, здійснює наступний ряд оптимізації попередніх результатів.

Поза тим, формотворчий пошук можна вважати одним з основних переваг при застосуванні параметричних підходів, поза всіма іншими аналітичними обчислювальними методами. Він дає змогу окреслювати потенційний бажаний результат не лише в плані числових значень – тих чи інших енергетичних чи

мікрокліматичних показників як окремих будівель, такі і середовища, але й задає базисні та концептуальні передумови для подальшої роботи над проектом формування нових енергоефективних будівель в складеному середовищі, оскільки як естетика, так і концепція – великою мірою залежать саме від форми.

Пошук архітектурної форми, зокрема – для інтеграції саме в історично складене середовище, це складний процес, що може поєднувати в собі різні проєктні цілі. Перед проєктувальником стоїть завдання пошуку тої багатоцільової оптимізаційної структури, та концепції опрацювання середовища – яка якнайкраще поєднає в собі і естетичні, і історично-консерваційні, і енергетичні цілі. Будь-який процес проєктування починається з пошуку форми, та окреслення загального робочого масиву в межах середовища, проєктних задач та обмежень. І саме параметричне моделювання та аналіз – з-поміж інших методів – дає найбільш швидкий спосіб створити найбільш оптимальну форму, та достатньо швидко опрацювати та оптимізувати її, через можливість безпосереднього врахування усіх необхідних характеристик

Підсумовуючи вищезазначене, процес параметричного аналізу та проєктування можна поділити на наступні стадії:

1. Опрацювання висновків та основ, отриманих за попередніх етапів дослідження – історично-соціального та інструментального досліджень;
2. Визначення базисних проєктних цілей для інтеграції в параметричний алгоритм - слід зазначити, що в подальшому, в процесі оптимізації, ці цілі будуть надалі доповнюватися. В процесі формування нових енергоефективних будівель в історично складеному середовищі, це, як правило, планіметричні характеристики основної проєкції – так званий нульовий переріз, від якого відштовхуватиметься подальше формування проєктного об'єму, та енергетичні характеристики, пов'язані з енергопотребами;
3. Пошук методу інтеграції вищевказаних цілей за допомогою параметричних інструментів – потребує як розуміння фаз та процесів параметричного аналізу, так і взаємозв'язків поміж досліджуваними компонентами;

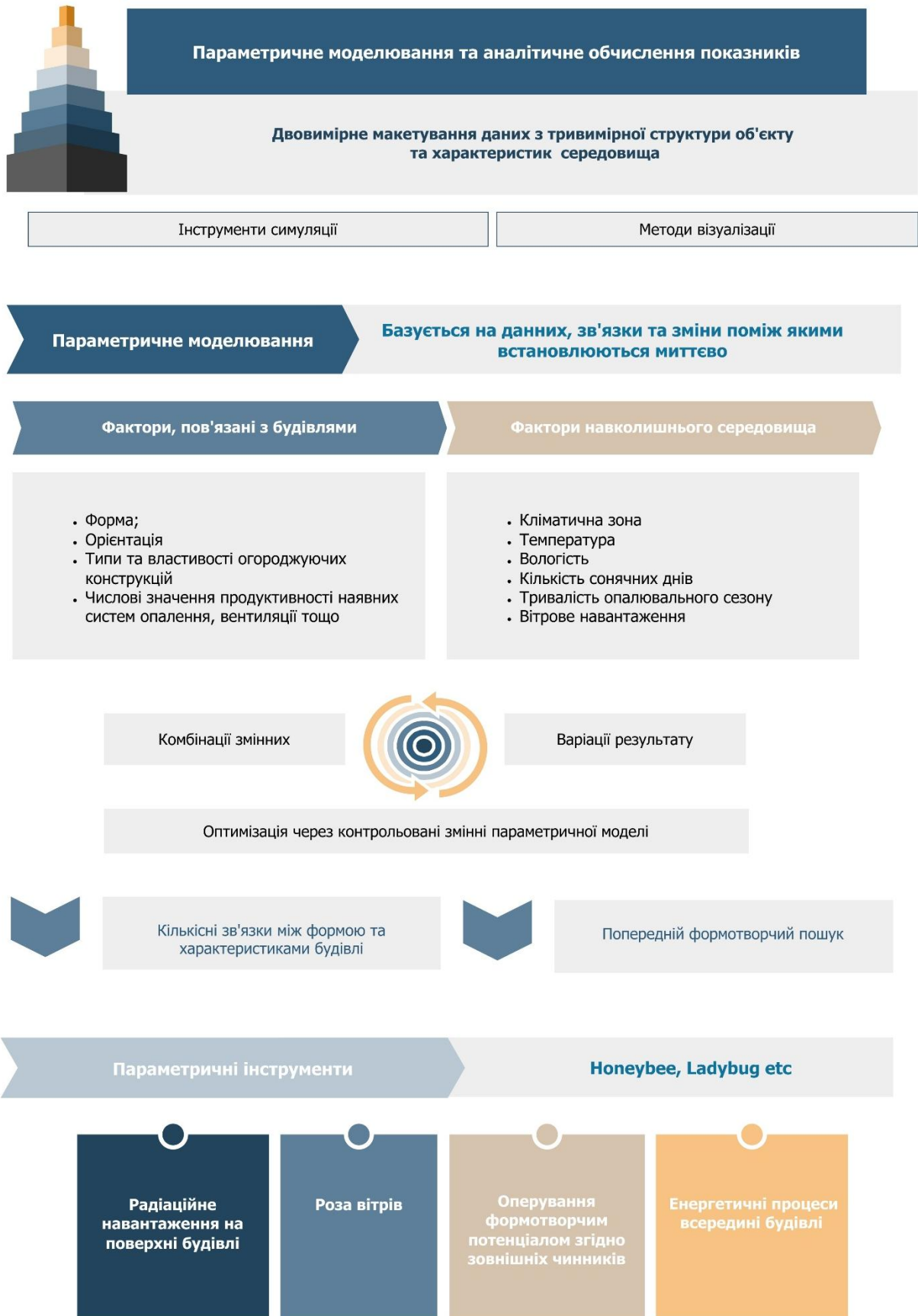


Рис. 2.7 Структура параметричного моделювання енергоефективних рішень в архітектурі

4. Подальша оцінка – тобто пошук кращої альтернативи, за внесення змін у попередньо досліджувані параметри, та нові ітерації – доповнюючи проєктний пошук новими змінними у вигляді нових цілей.

Окрім аналізу поточних показників енергоефективності та пошуку потенційної оптимальної форми в складеному середовищі, параметричний підхід дає змогу проводити й інші формати дослідження та взаємодії з середовищем. Наприклад, прицільне дослідження характеристик зовнішніх оболонок будівлі – усіх компонентів, що формують фасад - та доцільність їх застосування за тих чи інших умов навколишнього середовища. Або ж, пошук оптимальної форми окремих компонентів – певних конструкцій, дахів тощо [69].

Параметричні інструменти потребують від проєктанта більш складного та багатовекторного опрацювання, широко застосованою альтернативою до застосування параметричних інструментів є окреме аналітичне програмне забезпечення.

Слід однак зазначити, що при порівнянні отриманих результатів енергетичної поведінки будівель та споруд, здійснених поміж прогностичними моделями на стадії проєктування, та фактичного споживання енергії будівлею після введення в експлуатацію, певні похибки та розбіжності все ж виникають, тому повинні бути враховані на робочих етапах. Серед таких, можна зокрема виділити недостатню точність кліматичних даних, оскільки середньостатистичні унормовані показники для певного регіону можуть бути недостатньо валідними для врахування через процеси зміни клімату; поведінка користувачів та час їх фактичної експлуатації будівлі можуть в реальності значно відрізнятись від прогнозованих; спрощення базової системи загалом, що призводить до викривлення отриманих даних; продуктивність обладнання та інженерних систем можуть також відрізнятись від прогнозованих, через різницю проєктних та натурних умов тощо.

Підвищити точність аналітичної моделі можна за допомогою більш точних вхідних даних – зокрема, прогнозувати поведінку архітектурного середовища, базуючись на вхідних даних, отриманих не за допомогою інструменту симуляції,

а за допомогою натурно вимірних показників, отриманих за попереднього, вимірювального етапу дослідження та обстеження.

Загалом, результати процесів симуляції, та аналітичного і параметричного моделювання, є занадто індивідуальними для кожного проєкту, та переважно не підходять для подальшого узагальнення та систематизації, з метою виділення певних чітких правил та закономірностей щодо поведінки архітектурного середовища внаслідок оптимізації його характеристик [73].

Підвищення енергоефективності архітектурних рішень, порівняння та вибір оптимальних заходів і прийомів на будь-якому етапі проєктування розв'язується за допомогою моделювання кліматичних факторів, моделювання мікрокліматичних параметрів будівлі, перевірки варіантів будівлі або складної геометрії, підбору і розрахунку конструкцій та імітації ефектів перспективи розвитку навколишнього середовища та комплексів [105]. Однак на даний момент єдиний програмний продукт не може виконувати всі необхідні процеси. Тому тільки сукупність програмного забезпечення дозволяє пройти всі етапи передпроектного аналізу.

2.4 Основні критерії оцінки енергоефективності історично складеного архітектурного середовища

Отримана інформація з попередніх досліджень може бути піддана класифікації згідно контексту, та згрупована згідно трьох груп критеріїв: критерії забезпечення комфорту, забезпечення енергетичних параметрів, та впливу від споруди на навколишнє середовище.

Усі три групи параметрів вже стосуватимуться безпосередньо проєктних рішень та матимуть у своїй основі базисну інформацію, отриману за попередніх проєктних досліджень. Якщо на етапі аналізу метою було виявити поточний стан, характеристики та особливості архітектурного середовища, то результати передпроектних досліджень в межах груп параметрів слугуватимуть вихідною

точкою для подальшої верифікації – подальшого підтвердження доцільності прийнятих рішень.

Детальний розгляд груп критеріїв як складових оцінки дасть змогу заакцентувати увагу на ефективних потенційних проєктних рішеннях для відповідного досягнення проєктних цілей.

Першими слід розглянути критерії забезпечення комфорту, метою яких є досягнення оптимальних мікрокліматичних показників всередині будівель, задля досягнення здоров'я та благополуччя користувачів. Критерії комфорту формуються забезпеченням достатнього денного природнього освітлення, оптимальними температурними умовами та вологісними характеристиками, високою якістю внутрішнього повітря та забезпеченням достатньої акустики.

Світловий дизайн є важливим архітектурним засобом для створення архітектурного об'єму, привабливого та зручного для користувача. Окрім цього, забезпечення оптимального рівня денного освітлення позитивно впливає на біоритми людини.

Природнє освітлення володіє повним спектром випромінювання, що дозволяє забезпечити баланс кортизол-мелатонінової системи функціонування організму, жодне штучне джерело освітлення, при тім, не замінить природнє, оскільки не володіє достатнім, або ж наближеним спектром (рис. 2.8). При обрахунку інтенсивності природнього освітлення враховується **КПО** (коефіцієнт природнього освітлення) - відношення освітлення в даній точці приміщення до одночасного зовнішнього освітлення горизонтальної площини, що знаходиться на відкритому просторі й освітлюються небосхилом при дифузному світлі небосхилу. Таким чином, **природнє, або денне, світло** – це поєднання дифузного випромінювання небосхилу із сонячним освітленням.

Обрахунок денного освітлення здійснюється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення – згаданих вище параметричних інструментів та аналітичних програм.

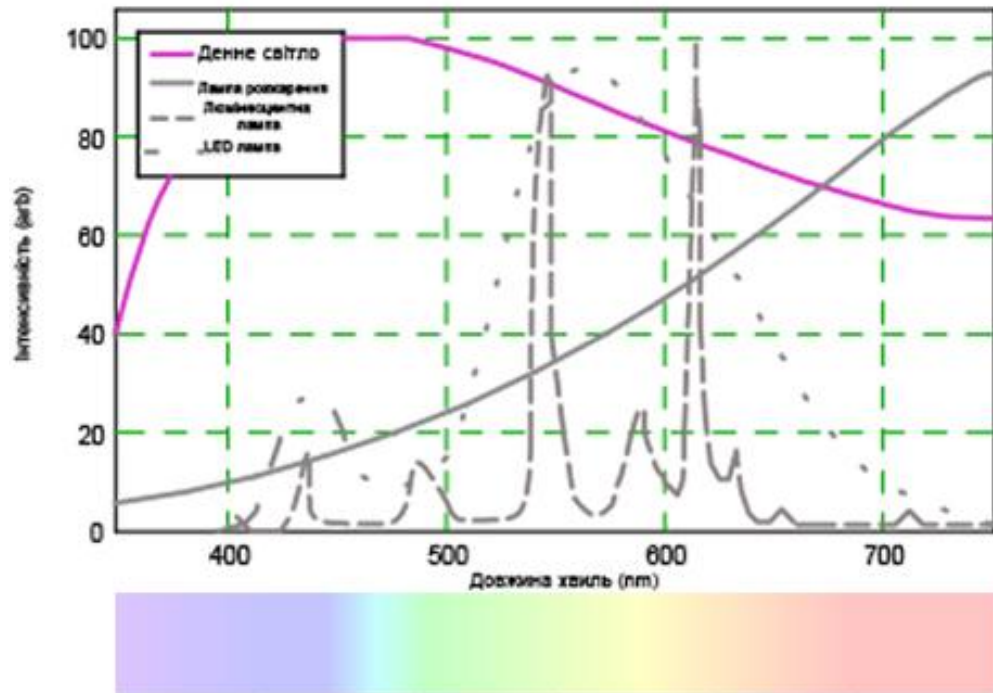


Рис.2.8 Спектр випромінювання різних джерел освітлення [4]

В програмному забезпеченні Rhino&Grasshopper, плагіні Ladybug, є можливість обчислення та аналізу інсоляції та денного освітлення, згідно кліматичних умов заданої локації. Окрім цього, у вищезгаданому ПЗ можна побудувати діаграми траєкторії сонця для дослідження сонячного азимуту заданої локації – для дослідження поточних умов денного освітлення.

При обчисленні денного освітлення обраховуються середні значення у всіх приміщеннях робочого призначення та основного перебування людей, враховуючи навколишнє затінення. Обчислюється середній коефіцієнт освітленості на відстані робочої поверхні, тобто в середньому це 0,75-0,8 м від землі. Не враховуються зони на відстані 0.5м від протилежної до вікон стіни.

В межах формування нових будівель в історично складеному середовищі слід дотримуватись принципів орієнтаційного дизайну, та враховувати тип, призначення та час використання певного приміщення, та рекомендовані сторони горизонту. В подальшому, в залежності від конфігурації новоствореної будівлі чи споруди також можна розглядати варіант розташування верхніх застлень. Не менш важливим також є використання сонцезатінюючих пристроїв для уникнення перегріву. Облаштування архітектурних заходів з уникнення

перегріву є вкрай необхідним, оскільки сприяють зменшенню подальших потреб на охолодження будівлі, оскільки на останнє витрачається в 3,5 рази більше енергії, аніж на обігрів. Попередній аналіз радіаційного навантаження на будівлю дозволить спроектувати сонцезахисні пристрої відповідної конфігурації та розташування.

Оптимальний температурно-вологісний режим також впливає на самопочуття користувачів будівлі, забезпечуючи працездатність, продуктивність та благополуччя. У вітчизняних будівлях на жаль наразі спостерігається недотримання температурно-вологісного режиму, що обумовлює низьку температуру в зимовий період часу, перевитрати на теплопостачання та погіршення комфортабельності. Вимоги до температури повітря регулюються ДСН 3.3.6.042-99 [141].

Теплокомфорт досягається за поєднання систем опалення та охолодження та низки архітектурно-інженерних заходів. При формуванні нових будівель в межах історично складеного середовища допускається варіант встановлення певних інженерно-технічних засобів опалення на новоствореній будівлі, з підключенням до інженерних систем існуючої, задля збереження цілісності первісного архітектурного вигляду (напр., встановлення термонасосів).

Розрахунок температури в приміщеннях на стадії проєкту здійснюється за допомогою систем адаптивного моделювання [151]. Архітектурно-інженерні заходи для досягнення оптимального теплокомфورتу та температурно-вологісного режиму можна розділити на такі, що відповідають за опалення, та такі, що відповідають за охолодження будівель. Уже раніше згадана продуманість орієнтацій приміщень, та, зокрема, формування нових будівель в межах історично складеного середовища при замкненні периметрального контуру забудови сприятиме скороченню енерговитрат на опалення та охолодження. Оптимізація зовнішнього теплоенергетичного впливу (обумовленого кліматичними умовами) на тепловий баланс будівлі здійснюється за рахунок вибору геометричних параметрів, орієнтації будівлі, розташування і

площі заповнення світлових отворів тощо – та повинна враховуватися на етапі первинного формотворчого пошуку.

Одним із найважливіших і найпростіших рішень для зниження тепловтрат є забезпечення безперервного контуру теплоізоляції, що суттєво впливає на тепломасообмін всередині, економлячи в подальшому ресурси на опалення – тому проєктування безперервного теплового контуру за рахунок облаштування теплоізоляції є необхідним при формуванні нових будівель.

Водночас, при дослідженні теплопровідних властивостей огорожуючих конструкцій історичних будівель, та подальшого потенціалу влаштування теплоізоляції, слід зважати на необхідність збереження автентичності будівлі. Саме тому, до нерекомендованих заходів енергетичної модернізації в історичних будівлях належить теплоізоляція стін по зовнішньому контуру. Майже завжди на історичних будівлях присутній декор та оздоблення, що унеможливорює зовнішнє утеплення через несучільний контур та нерівномірність зони встановлення утеплювача. Використання утеплювача по зовнішньому боці здатне вплинути на зовнішній вигляд будівлі, що є абсолютно не бажаним, оскільки є вимога у збереженні первісного ідейного образу та вигляду.

В такому разі рекомендують за можливості встановлювати утеплювач по внутрішньому контуру, проте за такого заходу виникає проблема містків холоду та переривності утеплювального контуру. Тому, разом з утепленням стін, рекомендують також утеплювати й частину перекриття по верхньому та нижньому боці, що є дещо складним з технічного боку.

При тім, при модернізації дахових площин вже є більша варіабельність щодо дозволених модернізаційних методів, оскільки дах менше за стінові елементи чи вікна впливає на формування цілісного образу [98].

В модернізації дахів перш за все слід звернути увагу на утеплення горища, аби забезпечити меншу кількість енерговтрат через зовнішні огорожуючі конструкції. Утеплення горищ також дозволить перетворити дахові площі в експлуатовані мансарди, що позитивно вплине на різноманітність функцій в

межах будівлі, та на рентабельність модернізаційних заходів. З цієї ж причини важливо організувати своєчасний ремонт покрівлі.

Також, для забезпечення оптимального температурно-вологісного режиму важливим є проведення заходів із санації, та дослідження засоленості стін, оскільки саме цей захід допомагає попередити та уникнути руйнування зовнішніх конструкцій. Необхідно потурбуватися про виведення накопичених в огорожуючих конструкціях солей, оскільки саме солі важких металів в переважній більшості випадків є причетні до руйнування зовнішніх стін. Заходи з санації також передбачають попередження утворення сирості, шляхом покращення руху потоків повітря в межах будівлі, що позитивно впливає на мікроклімат та здоров'я і благополуччя користувачів.

Якість повітря оцінюється за концентрацією вуглекислого газу в експлуатованому приміщенні за час перебування людей. Концентрація CO₂ у зовнішньому повітрі великих міст часто перевищує допустимі значення, через що системи вентиляції приміщень за асиміляцією CO₂ вимагають значних повітрообмінів [162].

Рівень CO₂ безпосередньо залежить від процесів життєдіяльності людини та є також індикатором забруднюючих речовин у повітрі. Вуглекислий газ, поряд з оксидами азоту, оксидом вуглецю, діоксидом сірки та леткими органічними сполуками, є типовою речовиною-забруднювачем, яку слід приймати до уваги під час оцінювання якості повітря при проектуванні систем вентиляції та кондиціонування. Європейський стандарт EN 13779 "Ventilation for-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems" [41] пропонує приймати концентрацію вуглекислого газу в зовнішньому повітрі в центрах великих міст 450 ppm як загальну базову довідкову величину, хоча насправді вона може бути істотно вищою.

Наступна група критеріїв пов'язана з енергетичними параметрами, та включає в себе оцінку енергопотреб, енергонадходжень та споживання первинної енергії.

При дослідженні поточних енергопотреб та потенціалу їх оптимізації, слід враховувати забезпечення всіх потреб на функціонування будівлі: опалення, охолодження, електроенергію, вентиляцію, функціонування приладів тощо. При опрацюванні енергопотреб історичного середовища, слід зосередитися на чинниках тепловтрат, та надлишкового споживання енергії, зокрема, важливо вжити заходів щодо уникнення тепловтрат через негерметичність конструкцій, вузлів, мостів холоду тощо.

Стандарти пасивного будинку, як одного з ключових енергоефективних будівельних стандартів, передбачає варіант енергоспоживання будівлі не більш як 15кВт/м кв. Стандарт Enerphit допускає дещо вищі показники енергоспоживання. Проте при проєктах підвищення енергоефективності слід зосередитися на тих заходах, які сприятимуть більш раціоналізації споживання енергоресурсів.

Загалом, можна виділити наступні причини можливих перевитрат енергоспоживання, як при опрацюванні вже складеного історичного середовища, так і при проєктуванні нових будівель, оптимізація яких підвищить енергоефективність споруди, а саме: зайві витрати на опалення; зайві витрати на охолодження; зайві витрати на електроенергію; зайві витрати через неефективність огорожуючих конструкцій; тепловтрати через віконні, дверні конструкції.

Для визначення енергопотреб будівлі застосовуються інструменти динамічного моделювання, доцільним є також проведення енергоаудиту. Методики цих розрахунків базуються на Міжнародному стандарті ISO 52016-1:2017[67] та ДСТУ Б В.2.2-39:2016 [143]. При оптимізації енергопотреб, будівлі ренованого середовища слід подавати на енергетичну експертизу, де згідно з обрахованими енергопотребами їм буде присвоєно енергетичний паспорт із зазначенням енергетичного класу – це одна із задокументованих верифікацій, що підтверджуватиме доцільність вжитих заходів.

Загалом, підсумовуючи вищезгадане, потенціал підвищення ефективності історично складеного середовища в плані оптимізації енергопотреб залежить від

ряду факторів, таких як архітектура будівель, їх конструкції, коефіцієнти опору теплопередачі огорожуючих конструкцій, особливості систем опалення, охолодження та кондиціонування, мікрокліматичні умови – всередині приміщень, та кліматичні умови середовища, зайнятість користувачів. Усі вищезгадані фактори слід враховувати при проведенні розрахунків.

Розгляд наступного енергетичного параметру групи полягатиме в аналізі енергонадходжень та оцінці потенціалу на встановлення альтернативних джерел енергії. Варіант потенційної імплементації альтернативних джерел енергії в середовище може враховувати дослідження можливості розташування або в межах конструкції будівлі, або на ділянці, або інтеграцію в найближчу енергосистему.

Хоча чітка регламентація щодо того, яке саме джерело чи спосіб надходження альтернативного джерела енергії слід підбирати для інтеграції в історично складене середовище, найбільш доречною все ж буде імплементація альтернативної енергетики на основі сонячної енергії, геотермальних насосів, та з комбінованих установок, де недоліки й обмеження першого джерела будуть компенсовуватися перевагами другого, і навпаки. Рішення про встановлення системи приймається згідно з оцінкою потенціалу власного використання, та є унікальним для кожного конкретного випадку.

Залежно від варіативності розташування відновлюваних джерел енергії в межах історичного середовища, слід розглянути три основні підходи, та оцінити потенціал кожного з них, залежно від особливостей конкретного проекту, а саме – розташування в межах будівельних конструкцій, інтегровані в енергетичну систему новосформованих в історичному середовищі будівель або розташування на ділянці.

Наступні параметри – пов'язані з первинною енергією. Первинна енергія – це форма енергії, що не піддавалася штучним метаморфозам. Джерелом первинної енергії є та форма енергії, що потрібна енергетичному сектору для перетворення безпосередньо в експлуатовану форму, та для здійснення в подальшому транспортування до місць безпосереднього використання.

Сукупність первинної енергії в межах досліджуваного архітектурного середовища – це сума усіх джерел постачання енергоресурсів, що включає виробництво в країні, імпорт, експорт та зміни резервних запасів первинних джерел енергії (вугілля, природний газ, сирової нафти, ядерної енергії, відновлюваних джерел енергії), а також імпорт, експорт, зміни в міжнародних морських бункерах та зміни резервних запасів перетворених енергоресурсів (напр., нафтопродуктів тощо) з урахуванням міжпродуктових передач, статистичних розбіжностей, перетворень, власного споживання енергетичним сектором, втрат при транспортуванні та розподілі [31].

Чим менше первинної енергії використовує будівля, тим більш екологічною її можна вважати. На жаль, в актуальних проєктах реновації історично складеного середовища в Україні часто не передбачено альтернативних джерел енергії, а саме вони забезпечують пряме надходження чистої енергії, що й зменшує кінцевий результат щодо споживаної первинної енергії.

Основними аспектами моніторингу чистої енергії, що враховуються при обчисленні використання первинної енергії є:

- **Індивідуальні інтегровані альтернативні джерела енергії**
- **Комунальні місцеві джерела енергії**

Якщо у випадку з першими усе зрозуміло, оскільки вони забезпечують безпосередню автономність елементів історично складеного середовища, то щодо комунальних – окремо також обраховують вуглецевий слід.

Згідно з Наказом Міністерством регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України №169 від 11.07.2018 «Про затвердження методики визначення енергетичної ефективності будівель» [168], значення первинної енергії передбачає знаходження різниці поміж загальними енергопотребами будівлі – на опалення, охолодження, кондиціонування, електропостачання тощо, та часткою енергії, що компенсується за рахунок відновлюваних джерел, та коригується згідно так званого національного фактору первинної енергії. Тобто фактично, це добуток суми усіх енергопотреб будівлі,

що забезпечуються з невідновлюваних джерел, та вищезгаданого національного фактору первинної енергії.

Національний фактор первинної енергії – це коефіцієнт коригування обчислення первинної енергії, що базується на національній кліматологічній та енергетичній ситуації та залежить в т.ч. від викидів парниковий газів. В Україні до розрахунку береться коефіцієнт 2,3 (згідно Додатку 10 до Методики визначення енергетичної ефективності будівель – Наказу Міністерства регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України №169 від 11.07.2018 «Про затвердження методики визначення енергетичної ефективності будівель» [168]).

Існують також вимоги щодо скорочення споживання первинної енергії, що регламентуються розпорядженням Кабінету міністрів від 29 січня 2020 року № 88-р «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії та затвердження Національного плану збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії» [173]. ДБН В.1.2-11:2021 [135] та ДБН В.2.6-31:2021 [138] містять загальні вимоги щодо енергозбереження та енергоефективності. Проте ці, та вищезазначені документ не містять конкретних числових значень для максимального споживання первинної енергії для енергонезалежних будівель у різних температурних зонах України.

Оновлена Директива ЄС щодо енергетичної ефективності будівель (Energy Performance of Buildings Directive (EU/2024/1275) [31] встановлює загальні рамкові вимоги для країн ЄС щодо скорочення споживання енергії та викидів парникових газів, але конкретні числові показники визначаються кожною країною окремо залежно від національних умов та температурних зон.

Наприклад, країни ЄС повинні забезпечити, щоб середнє споживання первинної енергії житловими будівлями було скорочено на 16% до 2030 року та на 20-22% до 2035 року. Для нежитлових будівель встановлюються мінімальні

стандарти енергоефективності, але вони не включають єдиних числових показників для всіх країн ЄС [35].

Європейський комітет зі стандартизації (CEN) пропонує шаблони для розрахунку факторів первинної енергії, але ці фактори суттєво відрізняються в різних країнах ЄС через відмінності у споживаних джерелах енергії та національних стандартах [191]. В Україні – як вже було зазначено, регламентується Наказом Міністерства регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України №169 від 11.07.2018 «Про затвердження методики визначення енергетичної ефективності будівель» [168]. Ці шаблони для розрахунків можна знайти у звіті, що містить огляд вимог до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії (nZEB), включає інформацію про фактори первинної енергії - для різних джерел енергопостачання, і їх відповідного впливу на енергетичну ефективність.

Фактори первинної енергії описують співвідношення між використанням первинної енергії та кінцевим енергопостачанням і, таким чином, виводять ефективність кінцевого енергопостачання у вигляді значень відповідного коефіцієнту. Підсумовуючи, заходи зі зменшення енергопотреб та імплементації відновлюваних джерел енергії скорочують кількість використовуваної первинної енергії, а отже суттєво скорочують вуглецевий слід від споруди.

Безпосередньо про вплив архітектурного середовища на довкілля, вуглецевий слід та життєвий цикл будівель – йдеться в заключній групі параметрів. Враховуються і застосовані матеріали, і потенційні викиди, і споживання ресурсів, і використовувані джерела енергії – все, що має вплив на життєвий цикл архітектурного середовища. При обчисленні навантаження на навколишнє середовище слід розглянути всі стадії життєвого циклу будівель та споруд складеного

На стадії виробництва враховується видобуток сировини, транспортування та виробництво, що визначають екологічність підібраних будівельних матеріалів, котра визначається відповідною сертифікацією. Щодо уже існуючих будівель в історично складеному середовищі, то у час їхнього зведення, за рахунок

тогочасних технологій, викиди при виробництві будівельних матеріалів були достатньо несуттєвими.



Рис.2.9 Схема життєвого циклу споруди [за директивою EN 15978]

На стадії будівництва враховуються потенційні викиди, пов'язані з транспортацією та зведенням конструкцій, оскільки саме тут продукується безліч потенційно шкідливих викидів. При зведенні нових енергоефективних будівель, використання імпортованих матеріалів, привезених здалеку, вважається неекологічним, оскільки вимагає нераціональних витрат, пов'язаних із транспортуванням. Натомість варто звернутися до місцевої матеріалобазы. Також, якщо на стадії проектування передбачається застосування вузлів, затверджених інститутом пасивного будівництва, то це служить своєрідним гарантом екологічності при зведенні таких конструкцій.

На стадії експлуатації враховуються безліч чинників, як от ремонт, заміна конструкцій, проведення реконструкцій та реновативних заходів, технічна експлуатація, енерго- та водокористування. За грамотно запроєктованої системи життєзабезпечення будівлі та максимально можливого використання відновлюваних джерел енергії, економічні витрати архітектурного середовища пов'язані лише з експлуатаційними вимогами, а потенційна заміна компонентів інженерних споруд передбачатиме гарантійний доступ до окремих комплементарних елементів. Загалом, раціональне використання ресурсів на стадії експлуатації суттєво зменшує вуглецевий слід вуглецевий слід та навантаження від споруди на навколишнє середовище.

На етапі кінця життєвого циклу окремих будівель та споруд складеного архітектурного середовища, важливо, аби конструкції були утилітарними та підлягали перезборці, або безпечній утилізації.

2.5 Параметричний алгоритм формування енергоефективних будівель в історично складеному середовищі

При формуванні нових енергоефективних будівель в межах історично складеного середовища потрібно послуговуватись комплексними мультифункціональними методами, що враховуватимуть широкий спектр характеристик. Зокрема, це дасть змогу не лише оцінити вплив від проектних рішень на окремі аспекти енергоефективності, а й слугуватиме підґрунтям для подальшого пошуку рішень у інших проєктах, де за результатами передпроектного аналізу було виявлено подібний набір вхідних параметрів.

Слід зазначити, що основний підхід щодо пошуку та аналізу проектних рішень послуговуватиметься параметричним підходом та інструментарієм. Це означає, що суть виокремлених методів полягатиме не лише в описі так званих *inputs & outputs* (вхідних та вихідних даних) та *pipeline* (послідовності) параметричних компонентів, а й у застосуванні параметричної логіки. Параметричний підхід передбачає виокремлення окремих досліджуваних параметрів, що відповідають аспектам енергоефективності, та зосереджуватиметься на виділенні конкретних об'ємно-просторових, кліматологічних, планіметричних, культурно-ціннісних та інших характеристик історично складеного середовища.

2.5.1 Вхідні дані для параметричного алгоритму

Методи параметричного моделювання дозволяють інтегрувати аналіз енергоефективних характеристик, їх окремих властивостей, а також вплив від потенційно вжитих заходів на історично складене середовище на ранніх етапах проєктування, дозволяючи оптимізувати робочі процеси та підбір тих чи інших рішень, забезпечуючи баланс поміж збереженням культурної спадщини та впровадженням сучасних технологій.

При цьому, слід ще раз виділити, що в умовах історично складеного середовища, проектними цілями є не лише підвищення окремих показників енергоефективності, а й збереження цілісності архітектурного образу середовища. Відповідно, остаточний проєктний варіант обирається з

урахуванням вимог естетики та автентичності, навіть якщо він не забезпечує високої ефективності в контролі енергоспоживання, проте дає змогу зберегти історичну, культурну та матеріальну цінність середовища.

У загальному значенні параметричного моделювання, термін «пайплайн» (pipeline) означає послідовність етапів обробки даних, де «вихід» (output) одного етапу подається на вхід (input) наступного (рис. 2.10), що дозволяє, зокрема, одночасно обробляти різні частини поставленої задачі (рис. 2.11).

Система вхідних даних, або ж «inputs», передбачатиме, зокрема, окремі дані про будівлю, отримані на попередніх етапах дослідження, та виокремлені в ряд параметрів згідно своїх властивостей. Наприклад, ключові параметри, що впливатимуть на енергоефективність будівлі – форма, орієнтація, матеріали огорожуючих конструкцій, тип та розміщення світлопрозорих конструкцій тощо. Історично складене середовище, на первинних етапах, слугуватиме геометричним масивом навколишнього середовища, що визначатиме об'ємно-просторове розташування, орієнтацію, габарити новостворених будівель, а також впливатиме на формування затінення, радіаційне навантаження, денне освітлення, інсоляцію тощо.

Останнє з перерахованого, при тім, належить до кліматичного аналізу, а отже послугуватиметься вхідними даними не лише про геометрію та властивості досліджуваного об'єкта та його навколишнього середовища, а й вхідними даними щодо кліматичних умов середовища. Ці дані беруться з ерв-файлів, що підвантажуються в середовище параметричного скрипту окремим компонентом, та містять метеорологічні данні певного географічного місця. Ці файли містять річні погодинні данні про температуру, вологість, сонячну радіацію, швидкість і напрямок вітру – для точного аналізу кліматичних умов.

Інші вхідні дані, отримані за попередніх етапів досліджень, також можна додати в робоче середовище, послугуючись відповідною параметричною логікою – тобто визначивши відповідні вхідні та вихідні параметри компоненту, а також їх роль в операційній логіці процесу. Це можна, зокрема, зробити з допомогою створення компоненту з кодом на мові програмування Пайтон.

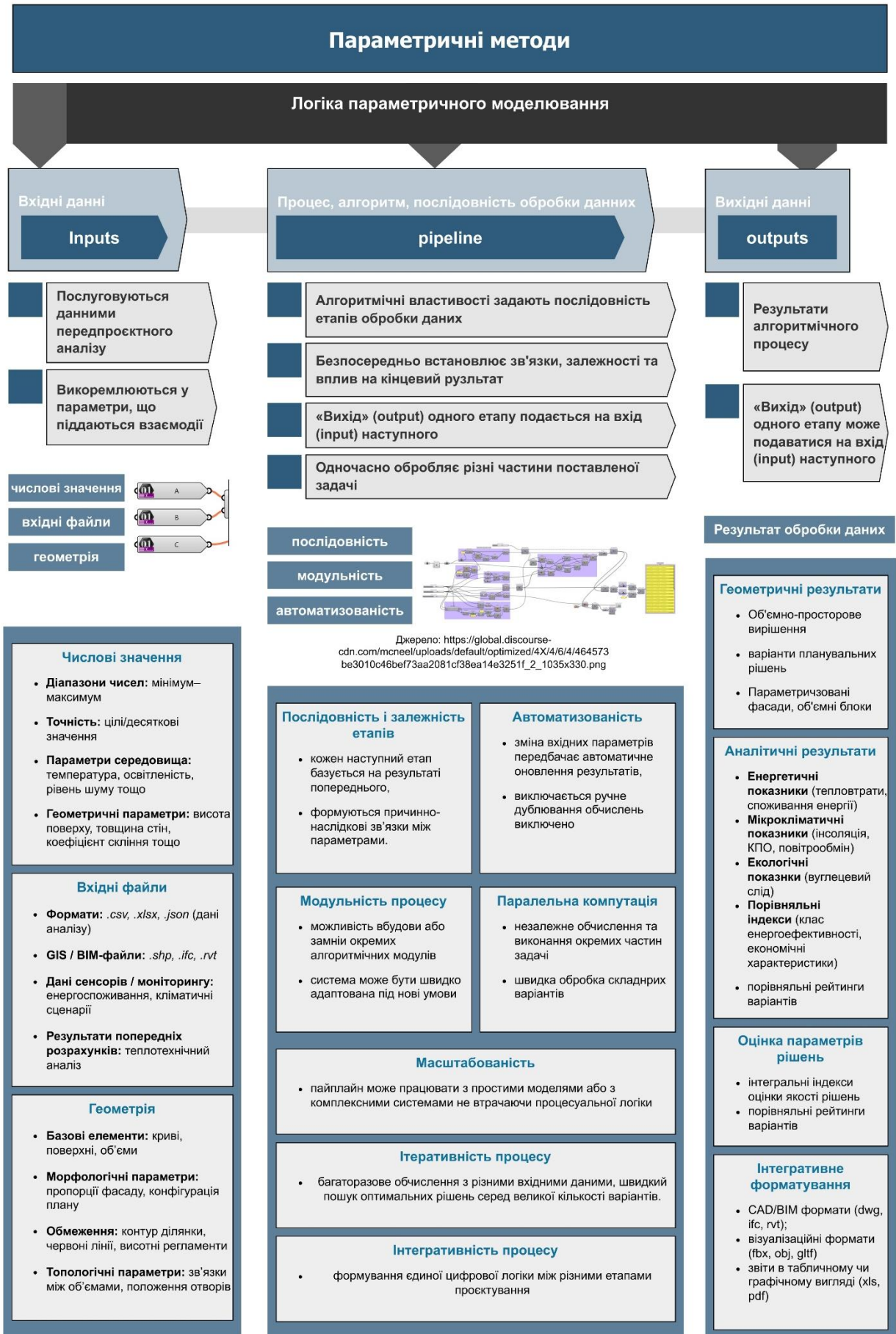


Рис. 2.10 Логіка параметричного процесу

В контексті енергоефективної реновації історично складеного середовища, шляхом формування в ньому нових енергоефективних будівель, первинними компонентами будуть (рис. 2.12):

- 1) Геометричні масиви, що визначають елементи історично складеного середовища, точні планіметричні характеристики котрих було отримано за попередніх етапів дослідження – зокрема, за допомогою фотограмметрії. Зв'язка параметричного та базового архітектурного програмного забезпечення дозволяє передати досить детальну модель для подальшого аналізу;
- 2) Умовні нариси чи обмеження по просторовому розташуванню нових енергоефективних будівель – з урахуванням відступів від червоних ліній, меж ділянки тощо – у вигляді замкнених кривих, що позначатимуть межі формування нової будівлі;
- 3) Геометричні масиви, що позначатимуть інші супутні елементи середовища, проте не матимуть такого істотного впливу на подальший обрахунок, як навколишні існуючі споруди – рельєф, крупні зелені насадження, тощо:
- 4) Вхідні кліматологічні дані по місцю розташування об'єкта, у вигляді вищезгаданих ерв-файлів. Доступна база даних ерв-файлів наразі є достатньо широкою, та охоплює не просто найбільші міста чи кліматологічні зони в країні, як це наявно по більшості доступного та широковживаного програмного забезпечення для кліматологічного та енергетичного аналізу, а й кілька найбільших точок в кожній області, охоплюючи якнайширший перелік погодних варіацій та місць;
- 5) Межі параметричних варіацій – задаються в межах кожного варіативного компоненту відповідно до типологічних та конструктивних особливостей об'єкту чи елемента, який він позначає (наприклад, висота поверху – в межах варіацій від 2.7 до 3.3 м; денне освітлення поверхні – з нижньою варіацією в 3.5 год тощо);
- 6) Інші вхідні дані, отримані за попереднього етапу досліджень, зокрема вхідні дані, відбитки по термографічній зйомці тощо.

Порівняння загальнопоширених та параметричних методів формування енергоефективних будівель		
Критерії	Загальнопоширені методи	Параметричні методи
Процесуальна логіка	Послідовний пошук оптимального рішення	Алгоритмічний/генеративний процес із миттєвим коригуванням
Вхідні данні	Модель з базовими параметрами	Гнучкі параметри: змінні числові значення, сценарії, варіації
Оптимізація	Покрокова - розрахунок - коригування - новий розрахунок	Одночасне коригування усіх взаємопов'язаних параметрів
Ітерації	Багаторазові повторення, значні зміни в ітераціях	Варіативність, сценарний підхід, «петлеві» алгоритми.
Швидкість процесів	Повільний процес, вимагає значних ресурсів і часу.	Майже миттєве оновлення результатів.
Недоліки	Довгі ітерації, кожна зміна зачіпає всі системи будівлі, часозатратне коригування.	Високі вимоги до навичок і софту, складність налаштування алгоритмів.
Переваги	Простота логіки та процесів	Висока швидкість, гнучкість сценаріїв, автоматизована оцінка.

Рис. 2.11 Порівняння загальних та параметричних методів

По визначенню вхідних параметрів – починається, власне, основний робочий етап, що, узагальнено - передбачає створення алгоритмічної моделі, із зручною та досить детальною можливістю зміни тих чи інших параметрів для миттєвих змін в геометрії та в енергетичних характеристиках будівель. Загальнопоширені методи формування енергоефективних будівель базуються на поетапному наближенні до оптимального рішення, за якого створюється модель будинку з уже заданими основними параметрами – орієнтацією, площею та конфігурацією плану, кількістю поверхів, типом даху тощо. Далі ця модель проходить розрахунок енерговитрат – якщо результат не задовольняє вимоги, модель коригується, розрахунок повторюється, і так триває до досягнення оптимального прийняттого варіанту – або ж за мінімальними втратами, або ж за відповідністю певному класу енергоефективності.

Даний метод має суттєвий недолік, що вирішується власне, за допомогою параметричних методів – кожна ітерація та зміна відбувається відносно довго, та потребує суттєвих змін, що зачіпають чи не усі системи будівлі, тож потребують ретельного та часозатратного коригування. Алгоритмічний метод, з адаптивними змінами параметрів, передбачає майже миттєве коригування усіх пов'язаних елементів, з можливістю задати як варіативний метод моделювання, так і сценарні підходи з поступовою, покроковою оптимізацією, так і застосування циклічних, «петлевих» алгоритмів.

2.5.2 Застосування генеративних методів при формуванні енергоефективних будівель в історично складеному середовищі

Викладені параметричні методи, що лягають в основу визначення параметричного алгоритму, базуються на еволюційно-оптимізаційному підході, що передбачає поступове вдосконалення результату, за допомогою циклічної процедури адаптивної оптимізації при поступовій зміні та впровадженні параметрів. Таким чином, кожен новий проміжний варіант – це не просто технічна варіація, а крок в процесі пізнання архітектурної системи – як вона реагує на ті чи інші зміни та варіації (рис. 2.10).

Первинні компоненти - вхідні данні для параметричного моделювання

Первинні компоненти для формування енергоефективних будівель у історично складеному середовищі

1 Геометричні масиви Вхідна геометрія, історичні масиви та середовище, планіметрія

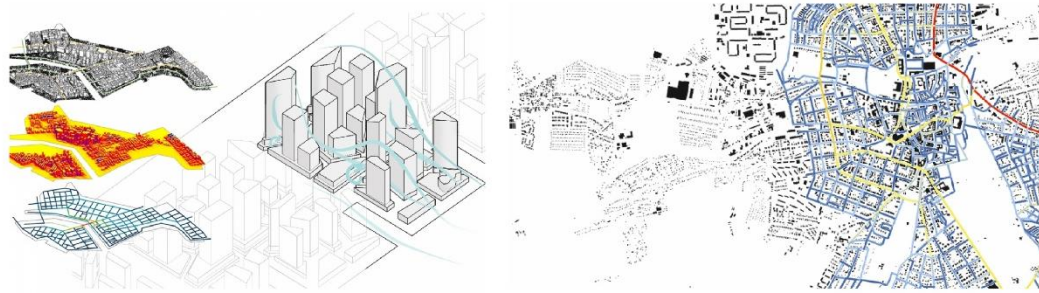


Джерело: <https://toolbox.decodingspaces.net/wp-content/uploads/2018/06/Simulation-output.png>

Джерело: <https://www.esri.com/content/dam/esristates/en-us/media/pdf/aug-2020-planning-ebrief.pdf>

Джерело: https://www.linkedin.com/posts/altree-developments_were-pleased-to-share-that-the-minor-variance-activity-7432786057118527488-7Ww

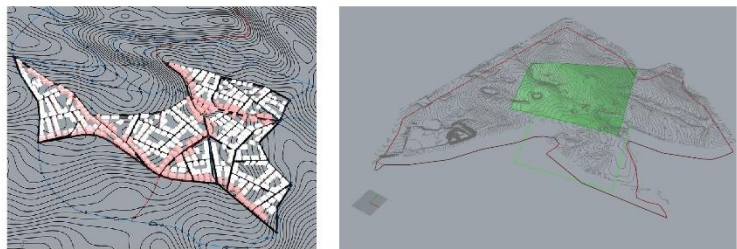
2 Обмеження просторового розташування Відступи до меж ділянки, програмні межі алгоритму



Джерело: <https://toolbox.decodingspaces.net/parametric-assistance/>

Джерело: <https://toolbox.decodingspaces.net/evolving-configurational-properties/>

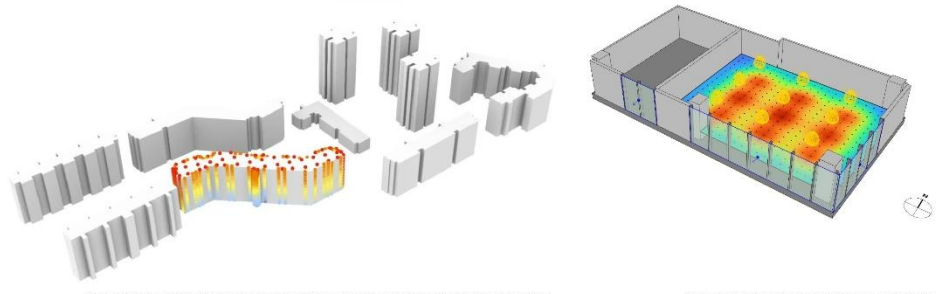
3 Масиви супутніх елементів Рельєф, озеленення, супутні аналітичні показники



Джерело: <https://discourse.mcneel.com/t/move-geometry-on-topography-surface/87356>

Джерело: <https://discourse.mcneel.com/topography-surface-from-contour-lines-irregular-area-borders/180347>

4 Кліматологічні дані Ерв-файли та первинна генерація кліматологічної ситуації



Джерело: <https://bca.arch.ethz.ch/learning-camp/cea-v-01-visualise-one-solar-simulation-results-on-building-envelopes>

Джерело: <https://discourse.mcneel.com/mesh-gradient/203907>

5 Межі параметричних варіацій Межі числових та булевих показників тощо

6 Інші дані Термографія, супутні вхідні дані, результати попередніх мультидисциплінарних досліджень

Рис 2.12 Первинні дані для формування енергоефективних будівель в історично складеному середовищі

Одним з параметричних методів, що передбачає тестування змін та варіацій – є метод генеративного моделювання. Головна перевага та особливість цього методу – підбір варіантів здійснюється протестувавши більшість можливих варіацій того чи іншого параметру (в межах заданих лімітів). Метод генеративного моделювання дозволяє автоматизувати процеси підбору просторових та конструктивних рішень на основі заданих вхідних даних, обмежень та встановлених критеріїв ефективності. Архітектурна модель виступає не як статичний об'єкт, а як динамічна система, здатна до трансформації у відповідь на зміну зовнішніх та внутрішніх факторів (рис.2.13).

Процес генеративного моделювання передбачає, за мінімального механічного втручання оператора, генерацію численних варіацій тих чи інших конфігурацій вхідних даних. В межах програмного забезпечення Grasshopper (на базі Rhino), наприклад, множина доступних варіацій тих чи інших компонентів (з попередньо встановленими межами на основі практичних основ та досвіду оператора) – є так званим «геномом» (genom), сукупність варіацій якого формує певний визначений результат. Варіації геному підбираються з метою досягнення певних заданих цільових критеріїв – так званого «fitness». Одним з найпоширеніших інструментів генеративного моделювання є Galapagos на базі Grasshopper. Досягнення цільових параметрів відбуваються за допомогою двох визначених підходів: еволюційного та кліматологічного.

Еволюційний оптимізатор в Galapagos базується на принципах, схожих до природного добору. Алгоритм генерує популяцію можливих варіантів рішень (genoms), і оцінює їх відповідність заданій цільовій функції (fitness). У подальшому відбуваються процеси «селекції» та «мутації», для відбору найкращих та найдієвіших «геномів», що утворюють так звані «покоління» результатів. Процес відбору повторюється, доки не буде досягнуто оптимального результату, а кількість ітерацій може бути налаштована користувачем. Загалом, еволюційний підхід дозволяє досить ефективно досліджувати великий простір можливих рішень, та знаходити оптимальні конфігурації для складних задач.

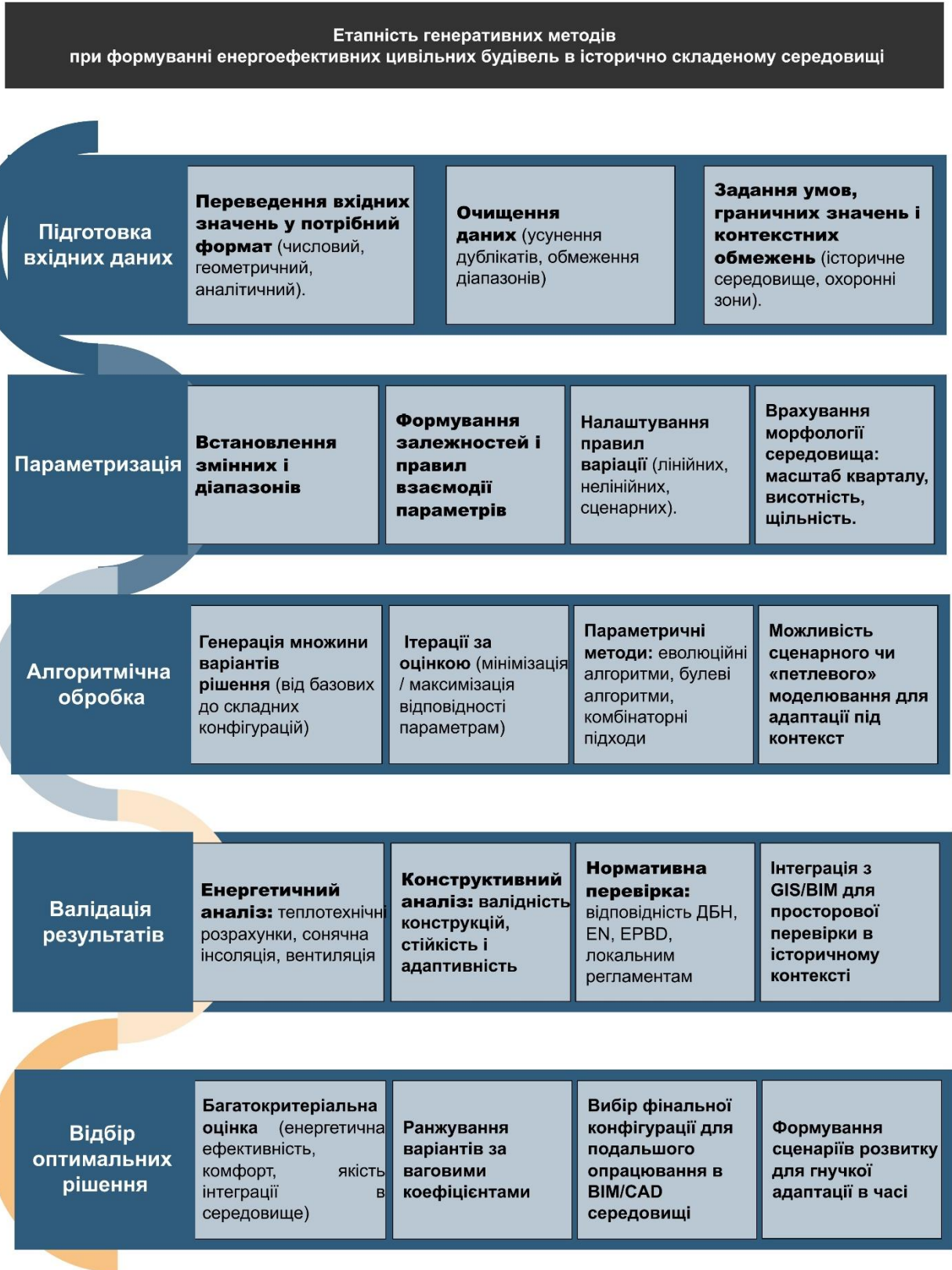


Рис. 2.13 Структура та етапність генеративних методів

В практиці проєктування енергоефективних будівель, генеративний еволюційний алгоритм може використовуватися для пошуку та оптимізації форм будівель – наприклад, для багатокритеріальної оптимізації при знаходженні геометрії, для забезпечення максимального природнього освітлення, чи радіаційного навантаження. Або ж, для визначення оптимального розташування на ділянці – з урахуванням сонячного шляху, вітрових умов, наявних обмежень в плані пропорцій, що їх виставляє історично складене середовище тощо.

Кліматологічний підхід в генеративних алгоритмах суттєво відрізняється від еволюційного. Якщо еволюційний передбачає підбір оптимальних рішень через селекцію, то кліматологічний підхід може аналізувати цілорічні сценарії продуктивності, на основі заданих параметрів геному, та дозволяє визначити пікові точки та максимальне навантаження згідно критичних для заданої місцевості кліматологічних умов.

Для таких досліджень доцільно використовувати інструменти для енергетичної симуляції, зокрема плагіни Ladybug та Honeybee, а також діапазоном інструментарію Wallacei для систематизації робочого процесу.

Генеративні методи також поділяються за ступенем оцінки. За одноцільової оцінки параметри аналізуються згідно досягнення однієї або декількох близьких цілей, що більш характерно для кліматологічного підходу, при чому в одну «ціль» можуть об'єднуватися взаємопов'язані параметри.

Багатоцільова оцінка спрямована на забезпечення одразу декількох цілей, що часто є суперечливими або й навіть взаємовиключними, а мета пошуку спрямована не на забезпечення конкретно всіх поставлених цілей, а на знаходження вибірки оптимальних компромісних рішень. Є більш характерною для генеративних методів за еволюційним підходом.

В контексті енергоефективної реновації історично складеного середовища, дуалізм поставленого завдання швидше опиратиметься саме на багатоцільову оцінку, оскільки тут досягнення максимальної продуктивності середовища із

зменшенням енерговитрат стоїть поруч з вимогою щодо збереження автентичності середовища.

Оскільки багатоцільовий генеративний алгоритм передбачає встановлення декількох цілей та підбір характеристик для їх досягнення, з врахуваннями потенційної суперечливості щодо впливу на ті чи інші первинні фактори та обмеження, то поруч з процесами селекції – відбору найбільш сприятливих рішень, та мутації – що передбачає подальший відбір з покращенням результатів, з'являється також поняття «кросоверу» (рис. 2.14).

Кросовер – це ключовий генетичний оператор в багатоцільових оптимізаційних алгоритмічних методах, що передбачає поєднання двох геномів (так званих «parents», подібно до біології), та віднайдення відповідних «дочірніх» рішень, що передаватимуть вигідні ознаки від множини потенційних вхідних параметрів, створюючи потенційно кращі комбінації для подальшого дослідження та оптимізації.

В параметричних алгоритмах процес кросоверу починається з вибору двох домінуючих рішень для схрещення (так званих Parent A і Parent B). Кожне з цих рішень містить множину числових параметрів (так званих параметрів-генів), що в процесі підбору рішень комбінуються поміж собою в межах різних варіацій, з присвоєнням відповідних коефіцієнтів, що в подальшому визначають потенціал кросовера (Crossover rate). У числовому відображенні, для кожного параметра обирається коефіцієнт β , що випадково генерується в межах від $-\epsilon$ до $1+\epsilon$. Генерація даного числа також визначає діапазон – наскільки далеко дочірні значення можуть відійти від початково заданих.

Дочірні рішення є гібридом діапазонів значень батьків, що розширюють генеративний простір за межі початкових значень. Отримання діапазону наступних значень можна описати за наступною формулою:

$$\text{child1} = 0.5 * ((1 + \beta) * A + (1 - \beta) * B)$$

$$\text{child2} = 0.5 * ((1 - \beta) * A + (1 + \beta) * B) \quad [28]$$

Дочірні значення усереднюють параметри початково заданих рішень, допускаючи розмаїтість пошуку та розширення просторового діапазону. В

подальшому, множина виведених рішень піддаються процесу перевірки за відповідністю до забезпечення заданим цільовим функціям, відповідно до яких відбувається відсіювання вибірки рішень.

В контексті формування нових будівель в історично складеному середовищі, кросовер-вибірка може виглядати наступним чином:

Parent A: Традиційний фасад, що відповідає архітектурно-образним характеристикам навколишнього історичного контексту (форма, пропорції, ритміка, застосування традиційних матеріалів чи імітація під них тощо);

Parent B: Повністю сучасний дизайн з інтеграцією високоефективних відновлюваних джерел енергії (фотоелектричних панелей, рv-плівок, інтеграція зелених покрівель тощо)

Для кожного визначального параметру, відповідно до меж його вибірки, присвоюється коефіцієнт β (наприклад, параметри форми даху, пропорцій фасаду, площі інтегрованих сонячних панелей, їх орієнтації та розташування тощо). Нові варіанти, згідно з алгоритмом, міститимуть вибірку поєднань характеристик з попередніх рішень – наприклад:

Child-1: Традиційний фасад з інтеграцією сонячних панелей методом імітації, що забезпечуватиме частку відновлюваної енергетики, та зменшуватиме енергопотребу будівлі з зовнішніх джерел.

Child-2: Сучасний фасад з інтеграцією сонячних панелей акцентним методом, котрий, натомість, зберігає пропорції та ритм навколишнього історично складеного середовища.

Кожен з варіантів в подальшому оцінюється в межах критеріальних характеристик, наприклад:

- 1) Вплив на енергоспоживання (на скільки зменшує загальні енергопотребу)
- 2) Вплив на енергонадходження (порівняння потужності та продуктивності, в контексті до заданого клімату та орієнтації)
- 3) Відповідність архітектурному образу навколишнього історично складеного середовища (відповідність пропорціям, кольорового рішення, форма та нахил даху, форма та кількість світлопрозорих отворів тощо)

Еволюційні алгоритми формування енергоефективних будівель

Структура етапів методу еволюційної оптимізації

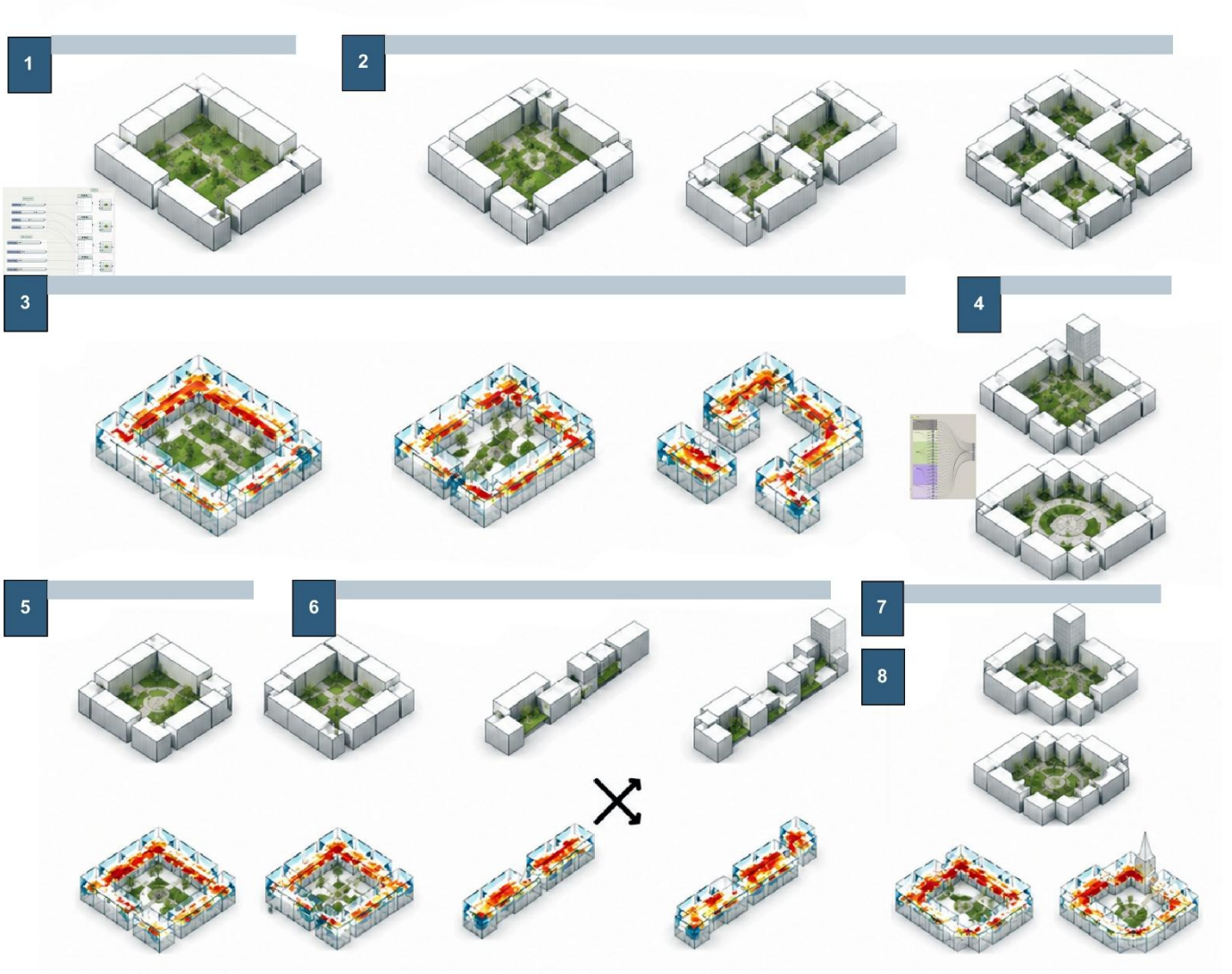


Рис. 2.14 Генеративні алгоритми за еволюційним підходом

В математиці метод алгоритмічного кросоверу має назву Simulated Binary Crossover (SBC), та вперше був описаний науковцями Дебом та Аргавалом у 1995 році для імітації властивостей бінарного кросовера в реальному числовому просторі [50]. В подальших розробках, даний алгоритм знайшов широке застосування як базис для багатоцільових генеративних алгоритмічних методів в інструментах параметричного моделювання.

В практиці багатоцільової генеративної оптимізації одним з найпотужніших інструментів є застосування так званого гібридного алгоритмічного методу SPEA-2 (Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2), що зокрема успішно застосовується в пакеті плагіну Octopus в Grasshopper. Його головна особливість полягає в знаходженні множини Pareto-оптимальних рішень, де при покращенні одного критерію враховується вплив, та можливе погіршення іншого, суперечливого згідно заданої цілі.

В контексті параметричного моделювання це означає, що замість пошуку одного, умовно найкращого варіанту, алгоритм формує множину потенційно придатних рішень, забезпечуючи баланс поміж бажаними енергоефективними параметрами, морфологією, кліматологічними характеристиками та відповідністю щодо збереження історичного контексту. Таким чином, у кінцевому результаті, виникає множина варіантів, з-поміж яких є вибір, який опиратиметься не лише на математично оптимальні значення параметрів, але й архітектурно-композиційні та культурно-матеріалістичні аспекти середовища.

Таким чином, доцільно буде також застосовувати гібридний генеративний підхід, який поєднує еволюційні алгоритми оптимізації з кліматологічним аналізом та контекстуальними обмеженнями історичного середовища. На відміну від окремого застосування еволюційного або кліматологічного методу, гібридний підхід передбачає інтеграцію декількох типів вхідних параметрів у єдину систему генерації та відбору варіантів, а також почергове перетестування за допомогою як еволюційних, так і кліматологічних підходів – для окремих частин проектування, котрі не лежатимуть в площині дуалістичного конфлікту. (рис. 2.15).

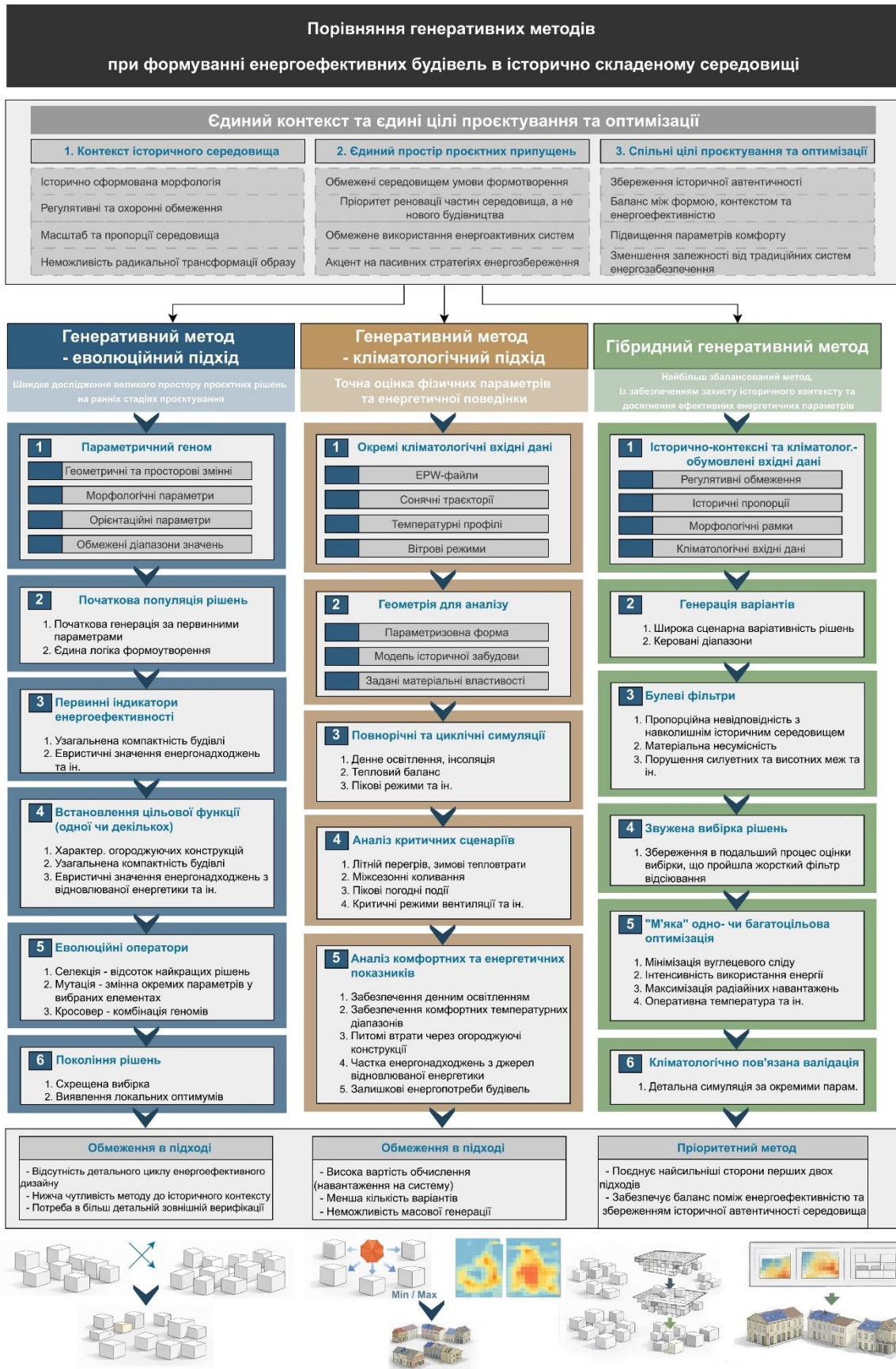


Рис. 2.15 Порівняння генеративних методів

2.5.3 Метод багатокритеріальної оцінки енергоефективних будівель в контексті історично складеного середовища

Метод багатокритеріальної оцінки при формуванні енергоефективних будівель в історично складеному середовищі, спрямований на пошук рішень, що одночасно забезпечують енергетичну ефективність, комфорт та збереження цілісності й виразності історичного архітектурного образу забудови.

Цей метод реалізується через послідовність етапів (рис. 2.16):

- 1) Визначення змінних параметрів - параметризація форми, геометрії та конструкцій, з встановленням лімітів щодо їх варіацій та відповідних вхідних характеристик (напр., розміри та розташування світлопрозорих конструкцій, товщина та тип утеплення, орієнтація основного фасаду, пропорції навколишніх історичних будівель, певні їх обмеження, що виведені у формат характеристик тощо), серед них наступні:
 - Геометричні характеристики нової будівлі: ширина, висота, кути даху, пропорції – усі фактори, що впливають на форму та на контекст;
 - Характеристики огорожуючих конструкцій: товщина утеплювача, теплопровідність матеріалів, характеристики вікон, коефіцієнт скління тощо;
 - Параметри інженерного обладнання для отримання енергії з відновлюваних джерел: площа покриття, кут та орієнтація панелей, потужність установок, варіативність розташування тощо;
 - Контекстуальні обмеження: відносна висота, пропорції, орієнтація, обмеження, встановлені вимогами щодо охорони спадщини та/або збереження автентичності історично складених будівель.

2) Встановлення цільових параметрів (функцій), відповідно до яких будуть оцінюватися варіанти рішень (напр., мінімізація тепловтрат, максимальне забезпечення природнього освітлення, відповідність пропорціям навколишнім історичним будівлям, тощо), згідно мінімізації чи максимізації результативних показників. Такі функції ще називають м'якими цільовими функціями, оскільки не передбачають жорсткого відсіювання, а радше – виявлення діапазону корисних проектних рішень (рис. 2.17).

**Мультимасштабна інтеграція параметричних методів
при формуванні енергоефективних будівель в історично складеному середовищі**

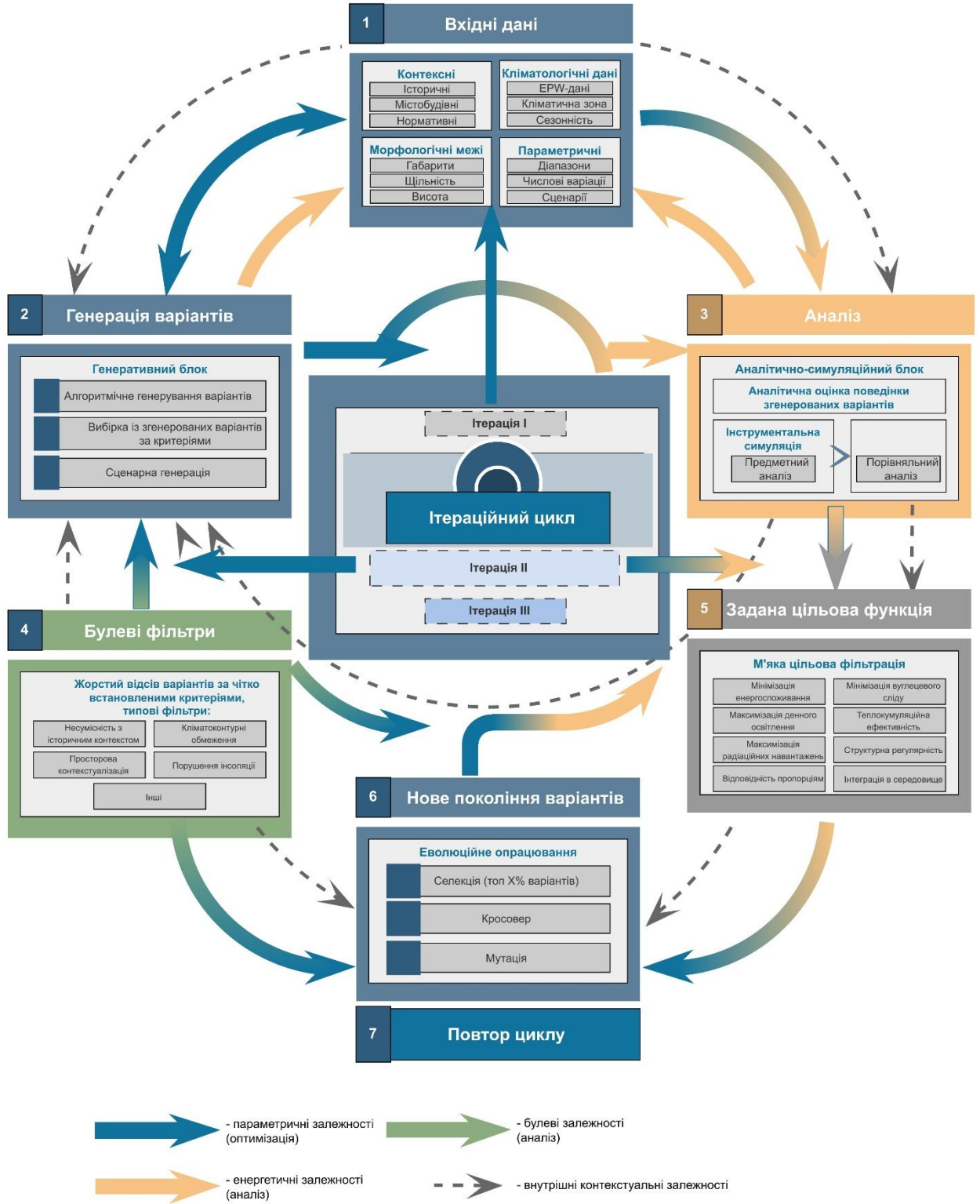


Рис. 2.16 Структура оптимізаційних методів

В контексті формування енергоефективних будівель в історично складеному середовищі, параметри оцінки можна поділити на дві групи. Перші, будуть пов'язані з забезпеченням енергонадходжень та параметрів комфорту, а другі – стосуватимуться контекстуальних параметрів, що визначатимуть гармонізацію рішень зі збереженням автентичності середовища (рис. 2.18).

В методах багатокритеріальної оцінки за енергетичною ефективністю прийнятих рішень, доцільно буде розглядати зокрема наступні критерії:

- щорічне енергоспоживання: EUI (Energy use intensity), - інтенсивність використання енергії, вимірюється в кВт·год/м². Пов'язаний з поняттям первинного енергоспоживання, та з навантаженнями на енергосистему, та відображає кількість енергії, спожитої за рік відносно площі будівлі, та водночас враховує енергію, що була використана задля виробництва та доставки;

- мінімізація вуглецевого сліду – оцінка річних викидів CO₂, та виключення при оптимізації варіантів з високим екологічним навантаженням;

- просторова автономія надходження денного світла SDA (Spatial Daylight Authonomy) – відсоткове співвідношення площі приміщення, що отримує достатньо денного освітлення, (а саме, ≥ 300 люкс), від загальної. Для адміністративних будівель – оптимальним буде забезпечення природнім освітленням не менш як 50% робочих годин;

- корисне денне освітлення UDI (Useful Daylight Illuminance) - відображає частку від загального часу денного освітлення, коли рівень денного освітлення знаходиться в корисному діапазоні (від 100 до 2000 люкс);

- річний вплив сонячного освітлення ASE (Annual Sunlight Exposure) – відображає відсоткове значення площі приміщень, що отримують пряму сонячну радіацію у понад 1000 люкс упродовж більш як 250 годин на рік. Для забезпечення комфортного, збалансованого освітлення в адміністративних приміщеннях, даний показник має складати не більш як 10%;

- максимізація радіаційних навантажень – залежно від форми, орієнтації, розташування та кліматичних параметрів місцевості, особливо актуально для кліматичних зон, де протягом значної частини року є потреба в опаленні;

- оцінка пасивної сонячної енергії (Passive Solar Score) – співвідношення освоєного сонячного тепла до річного енергоспоживання, встановлюється як інтегральний цільовий параметр;

- мінімізація температурних коливань протягом доби – за рахунок оптимізації конструкцій та забезпечення притоку пасивних теплових мас;

- теплоакмуляційна ефективність – для оптимізації ефективності впливу теплових мас, визначається як часовий проміжок поміж нагрівом фасаду, та віддачею тепла у внутрішній простір. Метрика даної цільової функції потребує узгодження з кліматом місцевості: максимізація цільової функції ≥ 4 год забезпечує зменшення перегріву вдень, та покращує вечірній комфорт, у той час як мінімізація метрики сприяє більш ефективному акумулюванню тепла, що сприятливо для кліматів зі значною річною потребою в опаленні [81];

- оперативна температура – інтегральний показник теплового комфорту, оцінює комфорт у приміщенні щорічно та подобово. Формулюється як мінімізація відхилень від оптимального діапазону робочої температури (зазвичай у межах 20–25 °C для холодного сезону, та до 27 °C у теплий період), або як максимізація часу, коли температура знаходиться в межах комфортної зони. Особливо актуально для будівель в історично складеному середовищі, оскільки там часто формуються обмеження щодо використання засобів клімат-контролю;

- коефіцієнт формотворення – мінімізація співвідношення площі поверхні до загального об'єму для забезпечення компактності будівлі;

- потенціал фотовольтаїки (PV-yield) – загальна електрична енергія, що може бути вироблена сонячними панелями за рік на одиницю площі, з урахуванням проєктних параметрів та конкретних кліматичних умов. У параметричних моделях, визначається або на базі erw-файлу та потужності елемента, оцінює щорічний потенціал генерування при заданій площі покриття та коефіцієнтах переведення мікролінійних втрат (нестиковими втратами між окремими модулями) [50], або за допомогою інтегрованої системи EnergyPlus, з урахуванням конфігурації, номінальної потужності та ККД панелей;



Рис. 2.17 М'які цільові функції – багатокритеріальна оцінка

Метрика продуктивності фотовольтаїчної системи може бути розкладена за компонентами, що дозволять оцінити також потужність PV-системи, коефіцієнт використання, відсоток енергопотреб, що покриваються PV-системою, вуглецевий слід від виробництва панелей, відношення між згенерованою панелями енергією, та енергією, витраченою на їх виробництво.

Наступний перелік стосуватиметься контекстуальних цільових параметрів, що стосуватимуться гармонізації нових будівель в історично складеному середовищі, та враховуватимуть стилістичну відповідність, обмеження форми та покриття, та жорсткі проєктні обмеження, що зумовлені вимогами збереження цілісного образу історично складеного середовища;

-відповідність оточуючим фасадним моделям та пропорціям, як відсоткове відхилення від характерних параметрів, що панують в середовищі - як відношення висоти, ширини, пропорцій та послідовності розташування елементів відносно навколишньої історичної забудови, що адаптовані з принципів традиційної побудови архітектурної геометрії [60];

-структурна регулярність: збереження ритмічного розподілу елементів з допустимим рівнем відхилення;

-взаємопроникність та замкнутість простору: як генем щодо замкнутості системи, та її відповідності попередньо визначеним осьовим орієнтирам;

-відповідність «регулювальним» лініям, для дотримання основних візуальних і композиційних орієнтирів середовища;

-обмеження щодо висотності та поверховості: варіювання в межах допустимих значень, із забезпеченням максимальної корисної площі;

-кути нахилу фасадних елементів- як максимально допустимі кути відхилення для забезпечення візуальної узгодженості з середовищем;

-допустима частка інтеграції відновлюваних джерел енергії на видимі конструкції будівлі: залежно від попередньо визначеного ступеня історичної цінності – наприклад, частка покриття сонячних панелей: $\leq 30\%$ на основних фасадах, або $\leq 50\%$ на даху, для збереження існуючої силуетної цінності;

М'які цільові функції при оцінці проєктних рішень

Пов'язані з забезпеченням енергоефективного розвитку

Назва цільової функції	Суть	Алгоритмічна логіка	Оптимальний діапазон	Небажані значення
Енергоспоживання	Мінімізація енергоспоживання	Розрахунок через енергомодель	Мінімізація	Високі значення - перевитрати
Вуглецевий слід	Зменшення екологічного впливу	Оцінка річних викидів CO ₂	Мінімізація	Високі викиди
Денне освітлення	Аналіз природнього освітлення	% площі більше як 300 лк	Більше 50% часу використання	Недостатня освітленість
Корисне денне освітлення	% освітлення в корисн. діапазоні	% часу 100–2000 лк	Максимізація в діапазоні	Дефіцит значень
Перегрів	Контроль сонячного випром.	% площі >1000 лк >250 год	≤10%	>10%
Радіаційні навантаження	Контроль сонячної радіації	Аналіз радіаційн. навант. поверхонь	Оптимум залежно від клімату	-
Оцінка пасивної сонячної енергії	Ефективність пасивного нагріву	Співвідношення тепла/споживання	Максимізація	Мінімізація співвідношення
Температурна стабільність	Зменшення добових коливань	Аналіз ΔТ	Мінімізація коливань	Різкі перепади
Оперативна температура	Тепловий комфорт	Відхилення від +20°C	max часу в комфортн. діапаз.	Вихід за межі
Теплова інерція	Ефективність теплових мас	Зсув піку	≈ ≥4 год (адаптивно)	Надто повільна інерція
Форм-фактор	Компактність будівлі	Площа/об'єм	мінімізація	-
PV-потенціал	Генерація енергії	kWh/рік з панелей	максимізація	Низький виробіток

Контекстуально пов'язані з вимогами історично складеного середовища

Назва цільової функції	Суть	Алгоритмічна логіка	Оптимальний діапазон	Небажані значення
Пропорційна відповідність	Узгодження з істор. морфологією	% відхилення від пропорцій	≤10–15%	Індивідуально
Ритмічна узгодженість	Збереження фасадного ритму	Аналіз інтервалів / частоти	Мінімальне відхилення	Порушення ритму
Висотна інтеграція	Узгодження силуету	Відхилення від середньої висоти	В межах контексту	Домінуючі
Композиційні осі	Узгодження просторової структ.	Вирівнювання/ відхилення	Узгодженість	Розрив структури
Замкнутість/відкритість	Морфологія простору	Аналіз контурів	Відповідність типу середовища	Дисбаланс
Видимість інтегрованих установок	Інтеграція інженерії	% видимих елементів	Низька/ контрольована	Візуальне домінування
Інтеграція ВДЕ	Баланс енергії та образу	% покриття	фасад ≤30%, дах ≤50%	Високі значення - перевитрати
Кути нахилу фасадних елементів	Візуальна узгодженість	Δ кутів/нахилів	В межах контексту	-
Ступінь втручання	Ступінь інтервенції	% змін	Мінімізація	%, що руйнує структуру
Цілісність образу	Загальна композиція	Інтегральна оцінка	≤10% відхилення	>10%

Рис. 2.18 Типи м'яких цільових функцій – багатокритеріальна оцінка

Співвідношення візуально видимих для обзору з громадських просторів площин та елементів будівлі, що містять інсталювані джерела енергії, інтегровані не методами імітації, а нюансу, контрасту тощо, до загальної площі таких поверхонь: задання цільової функції з вимогою дотримання критично низької видимості таких інженерних споруд в місцях з високою цінністю архітектурної спадщини, середньої – для буферних, історичних зон з неістотною цінністю датованої історичною забудови, та високої – в адаптаційних зонах з міксованою по часовому проміжку та невисокою по архітектурній цінності забудовою.

- сумарний потенціал напрямленого збереження існуючих конструкцій та елементів – як мінімізація ступеня інтервенції та оцінка ступеню невтручання у фасад, обмежуючи колористичні, об'ємні та матеріальні зміни;

-збереження цілісності архітектурного образу – через мінімізацію відхилення від поточних композиційних характеристик в межах 10%.

2.5.4 Цільові функції при формуванні енергоефективних будівель в межах історично складеного середовища

Доцільним є застосування булевих цільових функцій як додаткового механізму фільтрації проектних рішень.

Поруч із двома основними групами «м'яких» цільових функцій, в контексті формування енергоефективних будівель в умовах історично складеного середовища, особливо доцільним буде виділення третьої групи цільових функцій, що встановлюватиме конкретні обмеження та вимоги щодо подальшого відсіювання генеративних варіантів – йдеться про булеві (Boolean) цільові функції, або ж логічно-оперативні функції. Булеві цільові функції - це логічні критерії, які використовуються в процесах оптимізації для визначення, чи задовольняє певне рішення або варіант задані умови. Вони приймають два можливі значення: True (істина) або False (хиба).

Відповідно, кожен згенерований варіант, що відповідає м'яким цільовим функціям - проходить додатковий фільтр через відповідність булевим функціям. У процесах оптимізації цільові функції використовуються як

конкретна та точна перевірка на відповідність обмеженням. Якщо характеристики варіанту виходитимуть поза межі допустимих норм булевих функцій – такий варіант відкидатиметься системою як невалідний. Таким чином, система достатньо швидко відфільтровує та звужує коло обчислень (рис. 2.19).

Водночас, булеві цільові функції мають також певні недоліки, які слід враховувати при їх інтеграції в логічну послідовність алгоритму, або ж прописувати більш детальний пайплайн на перевірку.

Перше – це відсутність прямої оцінки градацій відхилення, оскільки булеві цільові функції оперують лише двома можливими значеннями – «істинно» (True) чи «хибно» (False). Без оцінки ступеня порушення обмеження, такі варіанти будуть відсіюватися жорсткими булевими фільтрами, якщо лишень не прописати у пайплайні додаткових перевірок, за яких оптимальні варіанти при незначних відхиленнях все ж пропускатимуться фільтром, проте такі доповнення можуть включати в себе достатньо велику та розгалужену вхідну варіацію проміжних фільтрів та сценаріїв.

Другий недолік булевих цільових функцій – це детерміновані жорсткі відхилення, що зменшують гнучкість оптимізації та варіантного пошуку, оскільки жорстко відсіюють варіанти, прийнятні за іншими критеріями.

В процесі проектних пошуків доцільно комбінувати булеві функції з іншими типами цільових функцій, де булеві функції виконують роль первинного фільтра, а інші функції — детальнішу оцінку якості варіантів.

Детерміноване жорстке відсіювання булевих функцій також можна пом'якшити за допомогою гібридних методів, що поєднуюватимуть грубий фільтр булевих функцій із м'якими цільовими функціями, що оцінюватимуть ступінь відповідності та діапазон відхилення від норми, а не просто задаватимуть жорстке відсіювання. Окрім цього, у системі пошуку енергоефективних рішень, доцільно буде реалізовувати маргінальні булеві критерії, що допускатимуть невеликі відхилення, та формуватимуть так звані «буферні зони» множини проектних рішень, що забезпечить гнучкість пошуку доцільних варіантів без компромісів для історичного архітектурного образу.

Окрім цього, в межах гібридної оптимізації слід також впроваджувати алгоритмічні стратегії, що дозволяють максимально використати потенціал кожного рівня фільтрації. Зокрема, йдеться про використання «сурогатних» моделей - підходу, що забезпечує високу швидкість оцінки параметрів при мінімальних обчислювальних затратах. Початкові варіанти, створені за допомогою булевих обмежень, передаються на рівень «легких» моделей, які швидко перевіряють їхню відповідність м'яким цільовим функціям, а лише потім - до повних симуляцій (EnergyPlus, Ladybug, Honeybee) [25].

Якщо виключати варіанти занадто рано, система ризикує «застрягти» в локальних оптимумах [96]. Використання гібридних алгоритмів, комбінування з м'якими цільовими функціями та використання маргінальних критеріїв, забезпечать як широку генерацію варіантів, так і їх якісний локальний пошук.

При формуванні нових енергоефективних будівель - група розглянутих булевих функцій – стосується **вимог збереження автентичності**, а її вхідні параметри стосуються виключно тих чинників, які спрямовані на охорону візуальних, матеріальних та конструкційних ознак, котрі визначають автентичний характер історично складеного середовища. Детермінований пайплайн даної фільтрації обґрунтований вимогою не допускати компромісів в частині збереження архітектурного образу (рис. 2.20).

Булеві функції визначають жорсткі рамки для генеративної системи, захищаючи матеріальну основу, силуетну цілісність - гарантуючи, що жоден проєктний варіант не переходить до робочого етапу без відповідності історичному образу. Відповідно, серед булевих функцій, виділяються наступні:

-Матеріали фасаду. Протягом передпроектних досліджень, слід виділити окремі норми та вимоги щодо застосування матеріалів, відповідно до ступеню цінності та вимог щодо збереження історичного образу середовища.

Таким чином, рішення буде детерміноване як «істинне» (True), якщо матеріали огорожуючих конструкцій будуть натуральні, характерні для середовища, або ж відповідатимуть визначеним як допустимі для даного проєкту в межах попередніх етапів дослідження.

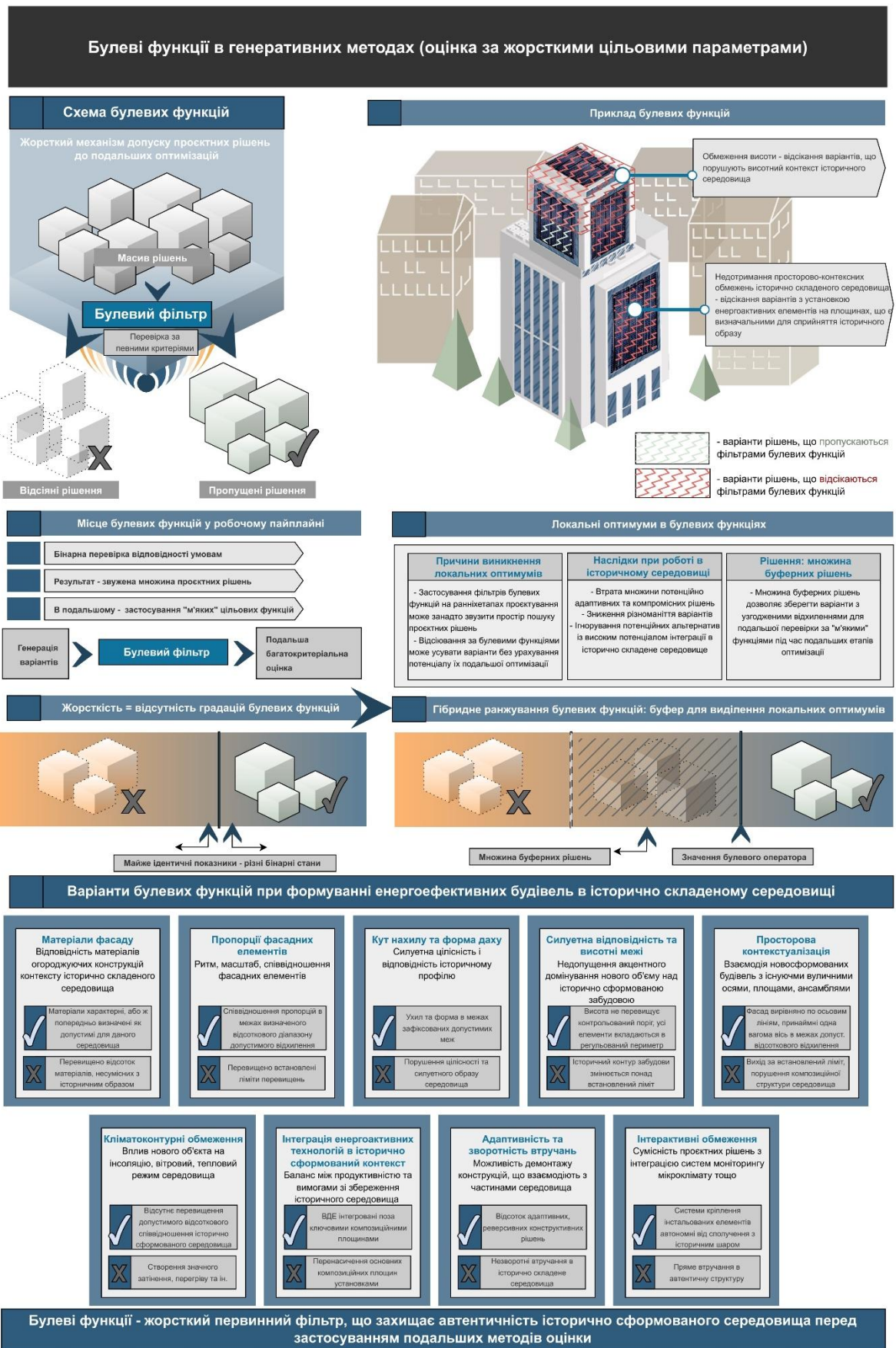


Рис. 2.19 Булеві функції та жорстке відсіювання проєктних рішень

Рішення буде визначене як «хибне (False) та відкинуте фільтрами, якщо буде застосовано облицювання скляними чи металевими фасадними системами якщо ті не визначені як прийнятні тощо.

-Пропорції фасадних елементів – булева функція, що забезпечуватиме типологічну відповідність та ритмічну гармонійність середовища, та визначатиметься як відсоткове відхилення від оригінальних пропорцій. Забезпечення даного булевого параметру потребуватиме вичленування основних архітектурних фасадних модулів, композиційних осей та їх пропорцій, а також їхні виміри у вигляді числових пропорційних відношень чи рівнянь.

Рішення буде класифіковане як True, якщо співвідношення висоти/ширини вікон, їхнє членування, чи ритм сегментів фасаду нової будівлі знаходитиметься в межах визначеного відсоткового діапазону допустимого відхилення.

Рішення буде відфільтроване як False, якщо встановлені ліміти відхилень буде перевищено.

-Кут нахилу даху. В історичних будівлях, саме дах найчастіше формує архітектурний характер будівлі, виражаючи через нього історичний стиль.

Рішення буде відфільтроване як True, якщо ухил та пропорції даху відповідатимуть зафіксованим дослідженим межам.

Рішення буде відфільтроване як False, якщо ухил виходитиме за межі допустимих лімітів, і вказуватиме на порушення лінії горизонту силуету.

-Силуетна відповідність та висотні межі – булева функція, що виключає можливість домінування новосформованих об'ємів над історично складеними будівлями. Основу цієї функції складає висотний ліміт та контур забудови, встановлені межами регуляційних ліній історично складеного середовища. Дана булева функція є важливою в контексті її задання в генеративний процес моделювання, оскільки сама по собі вона є інструментом забезпечення відповідності, інтегрованим в алгоритм.

Рішення щодо інтеграції новосформованих об'ємів буде відфільтроване як True, якщо максимальна висота не перевищуватиме контрольований поріг, а усі виступи та елементи вклатимуться в регульований периметр.

Рішення буде визначене як False та відсіяне, якщо висота виходитиме за межі порогу, і, відповідно, порушуватиме історичний силует, а існуючий контур за будови змінюватиметься на понад встановлений ліміт.

-Просторова контекстуалізація – група булевих функцій, що забезпечують візуальну відповідність нових об'єктів історично складеному середовищу через підтримку артикуляції фасадних осей, синхронізації з регульовальними лініями та формування візуально-функціональної замкнутості внутрішнього простору. Окремий підвид просторової контекстуалізації – це міська замкнутість, полягає у формуванні певної відкритої мережі просторів, що виникають внаслідок логіки розташування буферних зон середовища – площ, під'їздів, бульварів.

Якщо булева функція пропорцій фасадних елементів орієнтується на метрику локального балансу, що забезпечує стилістичну відповідність кожного елемента до стилістичних стандартів історичних будівель, то просторова контекстуалізація орієнтується на міжоб'єктні зв'язки, тобто враховують саме «глобальний» контекст, що покладається на збереження загальної композиції, орієнтації фасадних осей вздовж вулиць та замкнутість площин, тобто послідовність елементів, що формують візуальне заповнення простору.

На етапах передпроектного аналізу слід ідентифікувати домінантні просторові осі складеного середовища на основі креслень чи 3D-репліки. Вхідні параметри в генеративному моделюванні формуватимуться як компоненти осьових перевірок – для порівняння векторів нових об'ємів з задокументованими історично складеними. Окрім цього, слід додати компонент міської замкнутості – через аналіз шляхом використання нативних географічних інформаційних систем. Таким чином, булева функція просторової контекстуалізації тут підключиться як умова фільтрації – разом з пропорціями фасадних елементів – у поєднанні, сформуєть фільтр, який допускає рішення до подальшої оптимізації лише за умови їх одночасної відповідності.

Що стосується власне просторової контекстуалізації, то фільтрація булевого параметру може відображати наступні результати:

Булеві функції фільтрації проєктних рішень				
для енергоефективної інтеграції в історично складене середовище				
Назва булевого фільтра	Суть	Алгоритмічна логіка	Відсіювання істинне (True)	Відсіювання хибне (False)
Матеріали фасаду	Контроль відповідності матеріалів історичному середовищу	Перевірка входження матеріалу в список допустимих	Натуральні / автентичні / допустимі матеріали	Скляні, металеві або недопустимі системи
Пропорції фасадних елементів	Збереження ритму та типу фасаду	Порівняння пропорцій з допустимими (через допустиме відхилення)	Пропорції в межах допуску	Перевищення допустимого відхилення
Кут нахилу даху	Контроль силуету та історичного профілю	Перевірка входження кута в допустимий діапазон	Кут відповідає встановленим межам	Вихід за межі - порушення силуету
Силуетна відповідність / висотні межі	Недопущення агресивного домінування нової забудови	Перевірка висоти + вкладення в регуляційний контур	Висота в межах ліміту, об'єм в межах контуру	Перевищення висоти або вихід за контур
Кліматоконтурні обмеження	Узгодження осями, фронтами та структурою середовища	Порівняння осей, перевірка замкнутості простору	Вирівнювання по осях / підтримка вуличного фронту.	Порушення осей або розрив структури середовища
Параметри нової забудови	Недопущення погіршення існуючого мікроклімату	Аналіз інсоляції, вітру, альбедо	Не блокує світло / вентиляцію, не перегріває середовище	Створює затінення, перегрів або порушує мікроклімат
Інтеграція енергоактивних технологій	Баланс між енергоефективністю та візуальною цілісністю.	Перевірка % покриття (PV), розташування.	Фасад $\leq 30\%$, дах $\leq 50\%$, поза ключовими осями	Перевищення порогів або візуальне домінування
Інтерактивні та адаптивні обмеження	Зворотність і безпечність втручань	Перевірка способу кріплення і можливості демонтажу	Автономне кріплення, можливість демонтажу	Втручання в автентичну структуру

Рис. 2.20 Типи булевих функцій

Рішення буде відфільтроване як True, якщо фасад нового об'єкта буде вирівняно по осьовим лініям, або ж принаймні одна вісь знаходиться у визначеній межі допустимого відсоткового відхилення. Або ж, якщо об'єм нового об'єкта продовжуватиме існуючу замкнутість, формуючи вуличний камер та сприяючи існуючому ритму забудови.

Рішення буде відфільтроване як False, якщо композиційна вісь новосформованого об'єкта буде зміщена більше, ніж дозволяє максимально допустимий поріг відхилення. Або ж, якщо архітектура порушуватиме існуючу замкнутість, хаотично вибиваючись з існуючого ладу та створюючи розриви у візуальному ряді.

-Кліматоконтурні обмеження – це категорія булевих функцій, що враховує ключові просторово-кліматичні фактори, та гарантують, що рішення щодо інтеграції нових будівель та споруд не погіршать комфорт та мікроклімат в існуючих історичних будівлях.

На етапі передпроектного дослідження аналізуються сонячні діаграми, вітрові коридори, карти поточного радіаційного розподілу тощо - як за допомогою інструментальних досліджень, так і за параметричними компонентами, шляхом генерування прототипу середовища з вхідних параметрів кліматологічних баз - за допомогою застосування окремих плагінів (Ladybug, Honeybee, Cyclops у Grasshopper тощо). Окремо, слід встановити вимоги та допустимі значення альbedo для матеріалів фасадів.

Врахування кліматоконтурних обмежень також сприятиме мінімізації ефекту міського теплового острова. Міські території зазнають надмірного нагрівання поверхонь (у порівнянні з передмістям та сільською місцевістю), що зумовлює загальне підвищення середніх температур. Це явище обумовлене високою щільністю міської забудови, та домінуванням асфальтних та бетонних поверхонь, що активно поглинають сонячне тепло вдень та повільно його віддають вночі. Зниження ефекту міського теплового острова також сприятиме зменшенню споживання енергії на охолодження, зменшуючи навантаження на мережі, зниженню вуглецевих викидів, та покращенню якості міського повітря.

Фільтрація за даним булевим параметром відобразатиме наступне:

Рішення буде відфільтроване як True, якщо нова будівля не блокуватиме критичну сонячну експозицію чи природній рух повітряних потоків, або ж якщо в матеріалах опорядження фасаду будуть покриття, що матимуть менше альbedo та матимуть менший коефіцієнт нагрівання.

Рішення буде відфільтроване як False, якщо порушуватиме існуючий мікроклімат, створюватиме зайве затінення, або ж якщо поверхні новоствореного об'єму підсилюватимуть ефект міського теплового острова.

-Інтеграція енергоактивних технологій в історичний контекст – булева функція, що зосереджується на забезпеченні балансу між інтеграцією сучасних енергоефективних рішень та дотриманням просторово-контекстних обмежень історично складеного середовища.

Основним завданням є збереження візуальної та композиційної цілісності історично складеного середовища – зокрема уникаючи візуального перенасичення фасадів і поверхонь, спотворення силуетної лінії дахів та домінантних площин, котрі формують архітектурний образ історичної забудови. Відповідні обмеження мають визначатися на етапі передпроектного аналізу з урахуванням типу історичної забудови та ступеня її цінності.

Основним енергоактивним рішенням, що може впливати на архітектурний образ середовища, є інтеграція фотовольтаїчних установок на фасадах, дахах та поверхнях як історичних, так і нових будівель. Тому межі булевої функції доцільно встановлювати залежно від їх розташування в структурі середовища.

1. Площа енергоактивної установки на фасаді - обмежується до максимально допустимого значення, що визначається естетичними та стилістичними нормами захисту культурної спадщини. Значення обмеження площі PV-покриття ґрунтується на принципах гармонізації з історичним середовищем та перевірених практиках, що рекомендують не перевищувати площу фасадного покриття більше як на 30% [29], послуговуючись при тім нюансними та імітаційними методами композиційної інтеграції.

2. Площа енергоактивної установки на дахових поверхнях та площах – базується на схожому підході, де верхній поріг визначається з метою збереження силуетності, профілю та композиції даху, та становить обмеження у 50% зайнятої дахової площі.

Таким чином, межі відсотковості площ покриття визначаються як обчислена частка покриття фотовольтаїчними елементами на фасадах та дахах. Якщо обидва значення менші за порогові, прийняті рішення відфільтровуються як True, та допускаються до подальшої оптимізації. Опціонально, можна також додати в алгоритм частину про розташування енергоефективних установок поза межами основних композиційних осей.

-Адаптивні обмеження – окрема група булевих функцій, що спрямована не лише на відповідність проектних рішень історичним обмеженням, а й гарантує життєздатність та оборотність рішення в довготривалій перспективі, із здатністю до подальшої адаптації та реінтеграції, без ризиків пошкодження історичних тканин та автентичної цілісності складеного об'єкта.

До переліку цих булевих параметрів, зокрема належать ті, що можуть забезпечити технічну зворотність втручань та можливість безпечного демонтажу інсталюваних елементів, зокрема тих, що відповідають за енергоактивність – фотоелектричних модулів, сонцезатіняючих пристроїв. Окрім цього, адаптивні обмеження можуть враховувати сумісність проектного рішення з інтеграцією систем моніторингу мікроклімату в приміщеннях – тобто температурних сенсорів, структурних трекерів, вологомірів тощо.

Відповідно, рішення буде відфільтровано як True в тому випадку, якщо системи кріплення та конструктивні з'єднання інсталюваних елементів мають автономний від сполучення з автентичним шаром характер, тобто кріпиться до вторинного несучого каркасу чи на допоміжні легкозмінні конструкції.

Рішення буде визначено як False та відсіяно, якщо передбачатиме пряме втручання в автентичну структуру, демонтаж оригінальних матеріалів чи не може бути безпечно демонтоване по завершенню терміну експлуатації чи за потреби заміни окремих елементів.

Таким чином, система булевих функцій, є лише основою для більш комплексної структури фільтрації у гібридних методах оптимізації. Первинна жорстка фільтрація забезпечує входження лише тих варіантів, які не порушують архітектурного образу історичної забудови, та не виходять за встановлені межі щодо об'ємно-просторової організації нових будівель. Подальша ефективність системи булевих функцій передбачає її узгодження з наступними групами функцій – нормативно-технічними, кліматичними, мультиметричними тощо - що сформують єдину ієрархічну лінію фільтрації в генеративному пайплайні.

Наступним етапом – слід виділити подальші конкретні рішення щодо забезпечення енергоефективності середовища, зокрема інтеграції заходів для формування оптимального мікроклімату, та пов'язати їх з наступним етапом проектування, а також навести конкретні рішення для конкретно досліджуваного типу - громадських будівель в межах історично складеної забудови та зокрема, конкретно адміністративних будівель.

2.5.5 Оцінка енергоефективності та параметричні складові

В Україні обрахунок енергоефективності будівель базується на Законі «Про енергетичну ефективність будівель» [145], де основним інтегральним показником виступає річне споживання первинної енергії.

Першим етапом є визначення геометричних параметрів будівлі: площі огорожувальних конструкцій, опалюваного об'єму, поверховості, коефіцієнта компактності та орієнтації відносно сторін світу. У межах дисертаційного дослідження зазначені характеристики розглядаються як параметри об'ємно-просторової структури, придатні до алгоритмічного варіювання.

Наступним етапом є визначення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, зокрема коефіцієнтів опору теплопередачі. У параметричному підході ці показники можуть інтегруватися у цифрову модель через бібліотеки конструктивних рішень та сценарії автоматизованого підбору найбільш ефективних комбінацій матеріалів і конструкцій залежно від заданих критеріїв.

В подальшому обчислюються тепловтрати та теплонадходження, після чого обчислюється потреба в енергії на опалення або охолодження. Тепловтрати поділяються на трансмісійні (через огороджувальні конструкції) та вентиляційні (через повітрообмін та інфільтрацію). Розрахунок втрат через огороджуючі конструкції виконується для кожного елемента оболонки будівлі, а основою є добуток коефіцієнта теплопередачі конструкції, її площі та різниці температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем [145].

Відповідно, кероване через параметризацію збільшення площі фасадів або складності форми будівлі безпосередньо підвищує обсяг тепловтрат, що пояснює важливість коефіцієнта компактності в проектуванні енергоефективних будівель, та виокремлює параметричні методи як ефективний інструмент контролю й оптимізації геометричних характеристик будівлі ще на ранніх стадіях проектування.

Вентиляційні втрати визначаються через об'єм повітрообміну та теплоємність повітря. Для громадських будівель з адміністративною функцією - забезпечення належного повітрообміну критично важливо для належної працездатності та продуктивності.

Теплонадходження в методиці враховуються як внутрішні та зовнішні. До зовнішніх належать сонячні теплонадходження через світлопрозорі конструкції, що обраховуються через площу застління, коефіцієнт сонячного пропускання та інтенсивність сонячної радіації. У параметричному підході ці показники можуть інтегруватися як змінні параметри цифрової моделі, що дозволяє автоматизовано аналізувати вплив орієнтації будівлі, конфігурації фасадів, відсотка застління, сонцезахисних елементів, ступеня затінення тощо.

Внутрішні теплонадходження формуються від людей, обладнання, побутових та технологічних процесів. У громадських будівлях - визначаються за сценаріями експлуатації, режимних та пікових навантажень, що формують динаміку енергоспоживання протягом доби й року. У контексті параметризації це дозволяє створювати адаптивні цифрові моделі, у яких сценарії використання будівлі виступають окремими змінними параметрами.

Після визначення тепловтрат і теплонадходжень відбувається обчислення енергопотреб, розрахунок котрих виконується окремо для основних інженерних систем будівлі, що визначають енергоспоживання - опалення, охолодження, вентиляції, гарячого водопостачання та освітлення. Потреба в енергії на опалення визначається на основі співвідношення тепловтрат і теплонадходжень упродовж опалювального періоду. Водночас потреба в охолодженні залежить від рівня радіаційного навантаження на поверхні будівлі та виділення тепла від внутрішніх процесів та перебування й активності людей.

Потреба в енергії на вентиляцію визначається на основі необхідного повітрообміну, а розрахунок враховує об'єм приміщень, кратність повітрообміну, температуру та характеристики вентиляційної системи.

Для громадських будівель окремо визначається потреба в освітленні. Даний розрахунок залежить від площі приміщень, типу освітлення та приладів, режиму використання будівлі, доступу природного світла тощо. У контексті параметризації – це дає можливість аналізувати взаємозв'язок між архітектурними рішеннями та ефективністю систем.

Після окремого визначення потреб для кожної системи формуються сумарні річні енергопотреби, які надалі використовуються для обчислення річного споживання первинної енергії та визначення класу енергоефективності. У параметричному проектуванні цей процес набуває динамічного характеру, оскільки зміна будь-якого параметра цифрової моделі автоматично впливає на результати енергетичного розрахунку та дозволяє здійснювати комплексну оптимізацію проектних рішень.

У підсумку визначення річного споживання первинної енергії - будівлі присвоюється клас енергоефективності. Визначення класу базується на порівнянні фактичного питомого споживання первинної енергії з нормативним або референтним значенням для будівель відповідного функціонального призначення.

У параметричному алгоритмі наведені енергетичні показники інтегруються як система взаємопов'язаних змінних та цільових функцій, що

формують основу генеративного процесу. Геометричні характеристики будівлі (коефіцієнт компактності, площа огорожувальних конструкцій, конфігурація фасадів, орієнтація, відсоток застосування скління), теплотехнічні параметри оболонки, а також сценарії експлуатації будівлі задаються як окремі параметри «геному» в середовищі параметричного моделювання. У процесі генерації варіантів кожна зміна параметрів автоматично передається до блоку енергетичної симуляції, де відбувається перерахунок тепловтрат, теплонадходжень, рівня інсоляції, вентиляційних навантажень та сумарного річного споживання первинної енергії. Отримані результати надалі використовуються як вхідні значення для багатокритеріальної оцінки та формування параметрів генеративного алгоритму.

2.5.6 Створення беклогів та процесів паралельної компутації при формуванні архітектурних рішень будівель

У контексті параметризації особливу роль відіграють підходи, що передбачають створення беклогів та використання процесів паралельної компутації. Створення беклогу дозволяє структурувати весь комплекс об'ємно-просторових, функціонально-планувальних та енергоефективних рішень у вигляді окремих модулів та завдань, які можна одночасно обробляти, забезпечуючи гнучкість у моделюванні альтернатив. Використання паралельної обчислювальної логіки, як-от у Hops plugin в середовищі Grasshopper, дозволяє розподілити обчислювальні завдання між різними процесами та вузлами, що суттєво скорочує час генерації великої кількості варіантів і одночасно забезпечує їхню комплексну перевірку за кількома критеріями.

Такий підхід дозволяє не лише оперативно здійснювати масштабний параметричний процес моделювання, а й інтегрувати багатокритеріальні показники - енергоефективності, просторової варіативності, ергономіки та архітектурної якості без втрати цілісності алгоритмічної структури. Кожна конфігурація, сформована в рамках паралельного процесу, може бути оцінена автономно, після чого результати агрегуються, що створює ефективний механізм ітеративної оптимізації. Розуміння різниці між беклогом та процесами

паралельної компутації є ключовим для правильного використання обох концепцій у параметризації архітектурно-планувальних рішень.

Беклог - це структурований список завдань або модулів, які потрібно опрацювати у процесі проєктування. У контексті параметричного моделювання він служить для організації і планування роботи: кожен елемент беклогу описує, що потрібно зробити, які вхідні дані необхідні, які обмеження та цілі встановлені, забезпечуючи контроль, пріоритети та послідовність обробки параметричних елементів.

Процеси паралельної компутації - це технологія виконання обчислень, яка дозволяє одночасно обробляти кілька завдань або модулів із беклогу. Важливим тут є не організація завдань, а їх одночасне виконання на різних ядрах, потоках або вузлах обчислювальної системи, що скорочує час моделювання та дозволяє ефективно обробляти великі масиви даних або численні варіанти рішень, особливо в генеративних алгоритмах.

У контексті параметризації архітектурної організації енергоефективних будівель, слід підкреслити, що беклог виступає інструментом стратегічного контролю над процесом моделювання та оптимізації. Кожен елемент беклогу може містити конкретний набір параметрів, обмежень та цільових функцій, які стосуються геометрії, конструкційних матеріалів, кліматологічних умов або просторових взаємозв'язків. Подібна деталізація дозволяє виконувати часткову або модульну обробку даних, де зміни в одному модулі автоматично корелюються із залежними параметрами інших модулів через логіку пайплайну.

Ключовою перевагою беклогів є можливість паралельної обробки незалежних завдань, що суттєво прискорює генерацію альтернативних варіантів рішень. Наприклад, модулі, які відповідають за аналіз сонячного опромінення, теплових втрат, внутрішньої вентиляції та інтеграції відновлюваних джерел енергії, можуть виконуватися одночасно, а результати агрегуються на етапі узагальнення, що дозволяє проводити масштабну ітеративну оптимізацію у межах історично складеного середовища без ризику порушення цілісності архітектурного образу та без значного збільшення часу на моделювання.

Беклоги також забезпечують зручний контроль над пріоритетами та залежностями між завданнями. Зокрема, можна майже одномоментно визначити, як зміна матеріалу огорожуючих конструкцій впливає на тепловтрати, а зміна орієнтації будівлі - на інсоляційні показники та ефективність сонячних панелей. Таким чином, беклог стає інструментом для управління складними міжзв'язками, що дозволяє уникнути колізій і забезпечує узгоджене рішення для всіх підсистем будівлі.

У поєднанні з паралельною компутацією, беклоги сприяють підвищенню адаптивності моделювання: при зміні вхідних даних або появі нових обмежень можна швидко переобчислити лише ті блоки, які залежать від цих параметрів, не перезапускаючи повний цикл оптимізації. Це створює основу для динамічного та інтерактивного процесу параметризації, де кожна ітерація додає нову інформацію для прийняття більш обґрунтованих рішень щодо форми, конструктивних рішень та інтеграції енергоефективних технологій.

У перспективі, інтеграція беклогів та процесів паралельної компутації формує підґрунтя для створення цифрових "двійників" будівель, які здатні не лише відображати існуючий стан проєкту, але й прогнозувати поведінку об'єкта в різних сценаріях експлуатації, що дозволяє оперативно аналізувати вплив змін у конструктиві, плануванні чи системах енергозабезпечення на загальну ефективність будівлі ще до етапу реалізації.

Крім того, беклог як інструмент методичної організації створює можливість персоналізованої параметризації. Кожен модуль можна налаштувати відповідно до локальних особливостей - історичного середовища, кліматичних умов, функціональної програми будівлі чи окремих вимог замовника, що забезпечує баланс між стандартизованими алгоритмами оптимізації та індивідуалізованим архітектурним рішенням.

Методологія впровадження беклогів та паралельних компутацій у параметризацію архітектурно-планувальної організації енергоефективних цивільних будівель передбачає кілька послідовних етапів:

1.Формування параметричної моделі. На початковому етапі визначається набір ключових параметрів - просторових, конструктивних, енергетичних. Ці параметри формують основу беклогу, де кожен запис відповідає за конкретну задачу чи варіант рішення.

2.Організація беклогу як структури задач. Беклог структурується за рівнями пріоритетів: від базових функціонально-планувальних рішень до більш спеціалізованих оптимізацій (енергомодельовання, акустика, мікроклімат), що створює "живу базу даних" проєктного процесу, яка може оновлюватися й розширюватися

3.Паралельна компутація в середовищі параметричного моделювання. Використання інструментів на кшталт Hops у Grasshopper дозволяє обробляти різні сценарії одночасно. Це означає, що, наприклад, варіанти орієнтації будівлі, схеми розташування функціональних ядер і системи освітлення можуть тестуватися паралельно, скорочуючи час пошуку оптимального рішення.

4.Ітеративна інтеграція результатів. Отримані результати компутацій можуть автоматично імплементуватися в наступний беклог, і ставати підставою для формування наступних завдань. Таким чином, створюється циклічний процес удосконалення проєкту, де кожна ітерація ґрунтується на перевірених попередніх даних.

5.Фінальна параметрична валідація. Перед переходом до стадії робочої документації проєкт проходить перевірку за допомогою симуляцій, що дозволяє підтвердити відповідність архітектурно-планувальної структури як нормативним вимогам, так і енергоефективним критеріям.

Поєднання цих методів відкриває можливості для формування адаптивних архітектурно-планувальних моделей, які автоматично реагують на зміни зовнішніх параметрів.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ II:

1. Встановлено, що проєктування нових енергоефективних будівель у межах історично складеного архітектурного середовища потребує системного підходу, який поєднує мультидисциплінарні методи аналізу, моделювання та синтезу архітектурних рішень. Визначено, що дослідження історичного середовища повинно базуватися на поєднанні *історико-соціального та інструментального аналізу*.

2. Обґрунтовано доцільність застосування *параметричного підходу* як методологічної основи формування енергоефективної забудови в історично складеному середовищі. Встановлено, що параметризація архітектурних рішень дозволяє формалізувати систему взаємозалежних містобудівних, кліматичних, типологічних та нормативних факторів і забезпечує можливість їх одночасного врахування в процесі генеративного проєктування.

3. Сформовано структуру *параметричного алгоритму* формування енергоефективних будівель в історично складеному архітектурному середовищі, що включає етапи *передпроектного аналізу, параметризації характеристик, генерації варіантів, фільтрації та багатокритеріальної оцінки рішень*. Встановлено, що вхідні дані алгоритму повинні охоплювати геометричні, морфологічні, кліматичні, функціональні та історико-контекстуальні параметри середовища.

4. Обґрунтовано визначальну роль *генеративних методів* у формуванні варіантності проєктних рішень. Встановлено, що застосування кліматологічних та еволюційних генеративних підходів дозволяє автоматизовано формувати множину альтернативних рішень, досліджувати простір можливих конфігурацій та здійснювати багатоваріантний пошук оптимальних рішень.

5. Визначено структуру *багатоцільової оцінки* проєктних рішень, що базується на поєднанні енергетичних і контекстуальних критеріїв. Доведено необхідність застосування *жорстких (булевих) і м'яких цільових функцій*, а також *гібридного підходу до оцінки*, що забезпечує баланс між нормативними

обмеженнями, вимогами збереження історичного середовища та варіативністю проєктних рішень.

6. Обґрунтовано доцільність використання *еволюційного алгоритму SPEA-2* як інструменту *багатокритеріальної параметричної оцінки*, що забезпечує *формування Pareto-фронту*, збереження різноманітності рішень та стабільність результатів у складних параметричних системах. Встановлено, що застосування *методів паралельної компутації* підвищує ефективність генеративного процесу та масштабованість алгоритму.

7. Узагальнення результатів дослідження дозволяє стверджувати, що запропонований параметричний підхід, що складається з передпроєктного аналізу, генеративного моделювання, булевої фільтрації, багатокритеріальної оцінки, формує цілісну методику архітектурної організації нових енергоефективних будівель в історично складеному середовищі.

РОЗДІЛ ІІІ

РЕАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРИЧНОГО АЛГОРИТМУ ПРИ ФОРМУВАННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ У ІСТОРИЧНО СКЛАДЕНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

3.1 Архітектурно-кліматичні прийоми у формуванні енергоефективних будівель в історично складеному середовищі

Архітектурно-кліматичні прийоми - це сукупність архітектурних та конструктивних рішень, спрямованих на адаптацію будівлі до локальних кліматичних умов з метою забезпечення комфортного мікроклімату та зниження енергоспоживання.

Архітектурно-кліматичні прийоми формування енергоефективних будівель у межах історично складеного середовища доцільно розглядати не лише на рівні окремої будівлі, а як багаторівневе системне явище взаємопов'язаних параметрів, що діють у різних просторових масштабах. За такого підходу, розвиток енергоефективності історично складеного середовища формується не окремими технічними рішеннями, а як результат узгодження містобудівних, морфологічних, кліматичних та конструктивних факторів. Таким чином, інтеграція енергоефективних стратегій відбувається послідовно, а проявляється як від масштабу міста до масштабу окремих архітектурних елементів (рис. 3.1).

Враховуючи комплексний характер та багатоплановість задачі, подальший розгляд доцільно зосередити щодо тих архітектурно-кліматичних прийомів, що можуть бути безпосередньо застосовані при формуванні нових громадських будівель у межах історично складеного середовища. З огляду на те, що предметом дослідження є нові енергоефективні громадські будівлі з адміністративною функцією, особливу увагу приділено останнім, що характеризуються специфічним режимом експлуатації, високою щільністю перебування людей у робочі години, значними внутрішніми тепловими надходженнями та підвищеними вимогами до забезпечення стабільних параметрів мікроклімату.

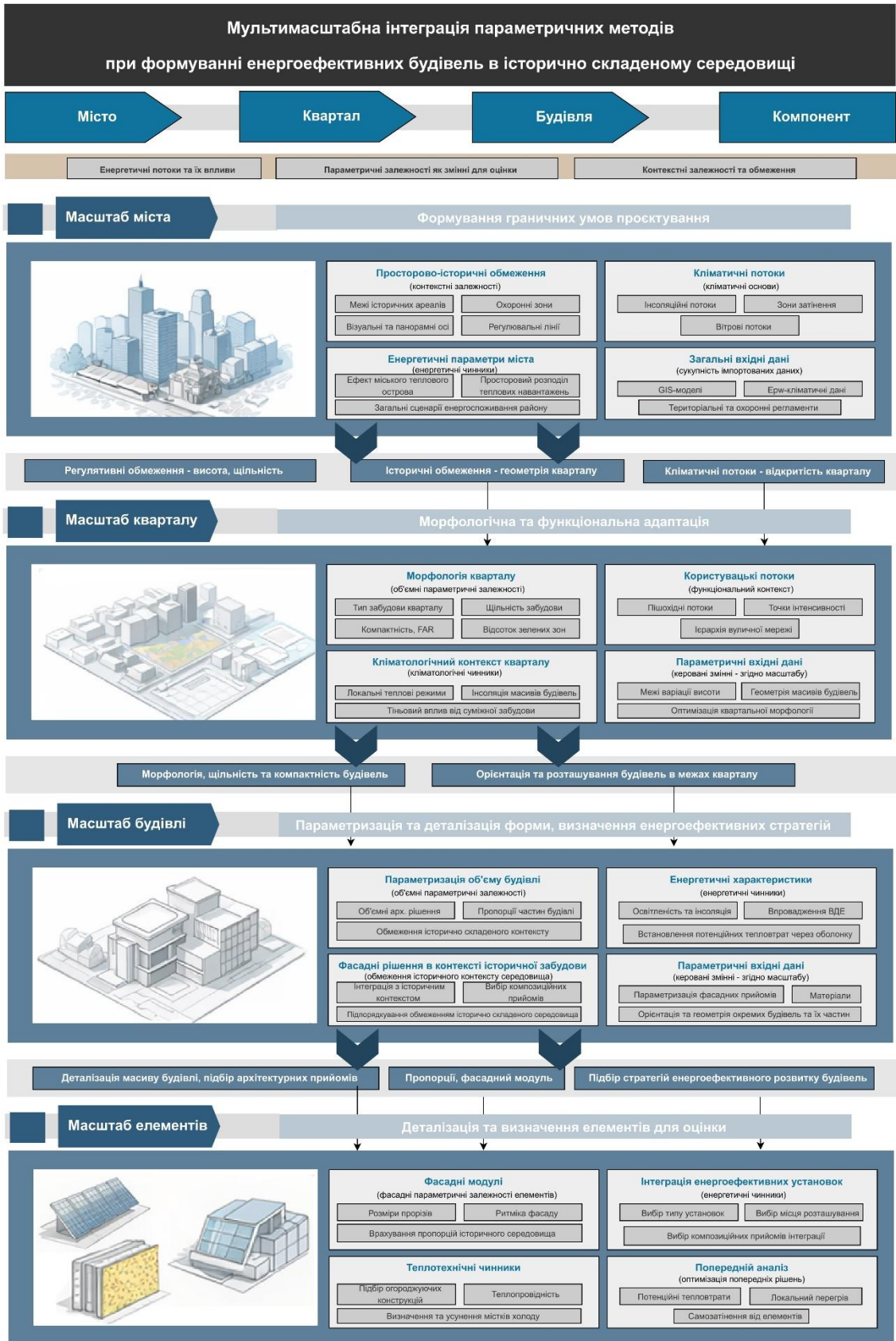


Рис. 3.1 Концептуальна схема інтеграції параметричних методів у процес формування енергоефективних будівель.

Інтеграцію заходів щодо забезпечення оптимального мікроклімату в громадських будівлях з адміністративною функцією варто розглядати не лише з технічної точки зору, а в контексті збереження комфорту працівників та відвідувачів, підтримки збереження об'єктів культурної цінності й адаптації до змін клімату.

Громадські будівлі з адміністративною функцією характеризуються високою щільністю відвідувань, зокрема в окремі «пікові» години, можливою наявністю специфічного обладнання з окремими вимогами щодо енергоспоживання, вимогою забезпечення безперервного енергопостачання в робочі години, та відсутністю енергетичного навантаження в нічний час. Відповідно, для забезпечення оптимального мікроклімату доцільно розробляти систематизований підхід як щодо інтеграції загальних проєктних архітектурно-конструктивних рішень із забезпечення енергоефективності, так і окремих локалізованих технічних рішень (рис. 3.2).

1. Система «подвійної» оболонки фасадів – стратегія, що поєднує пасивний енергоефективний захід з обережним підходом до історичного контексту. «Подвійна» система фасаду формує поміж зовнішньою, переважно навісною оболонкою та «внутрішнім» фасадом повітряний прошарок, як правило, розмірами від 20 см до 1 м, що може забезпечувати природню вентиляцію та адаптуватися під сезонні потреби, знижуючи теплові витрати взимку та запобігаючи перегріву влітку. Комфортабельність внутрішнього середовища будівель з подвійною оболонкою забезпечується через регуляцію мінімальних та максимальних температур (рис. 3.3).

Особливим варіантом системи подвійного фасаду є вертикально-камерні фасади, що формується на базі внутрішніх повітряних шахт або коробів, де коробкові модулі чергуються зі спеціалізованими вертикальними вентиляційними шахтами, що створюють природній «коминовий» ефект, забезпечуючи, таким чином, ефективне виведення нагрітого повітря через верх фасаду, самоорганізуюючи систему циркуляції охолодження.

Міжшарова шахта виконує роль вертикального повітряного каналу, що розподіляє потоки по поверхах, та формує стабільну тягу. Водночас, отвори на периферії кожного поверху впускають свіже повітря у зазор, коли це потрібно, забезпечуючи стабільну циркуляцію. Відповідно, в літній період, повітря в міжкамерному просторі може активно виводитися через камерні шахти, охолоджуючи внутрішній шар оболонки будівлі, та знижуючи навантаження на кондиціонування. У зимовий період повітря в міжкамерному просторі може працювати як статичний буфер, затримуючи тепло та зменшуючи тепловтрати.

Також, зовнішній шар подвійної фасадної оболонки покращує інсоляційну регуляцію, за рахунок контролю потоку сонячного випромінювання та збалансування теплообміну. Водночас, зменшується навантаження на системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

Конфігурація вертикально-камерних систем демонструють суттєве зниження енергоспоживання на охолодження, оскільки згідно симуляцій, використання енергії за прийняття в проєкті такого рішення знижується на 8-10%, а навантаження на системи охолодження знижується на 14-15% [86]. Зниження енерговитрат забезпечується за рахунок того, що шахтні канали максимально активізують природну тягу, охолоджуючи повітря навіть в глибших шарах внутрішнього будівельного об'єму [6].

Системи подвійної оболонки фасадів, зокрема, вертикально-камерних систем, є оптимальними для застосування безпосередньо на історичних будівлях малої цінності, з поганим поточним станом зовнішніх структур. Внутрішня «оболонка» фасаду залишається автентичною, тоді ж як зовнішня – слугує енергоефективним буфером.

Дана стратегія також дозволяє знизити теплові втрати, підсилити акустичний захист та зменшити потребу в механічному кондиціонуванні. Подвійний фасад є регульованою системою, з можливістю абсолютного узгодження з культурним контекстом історично складеного середовища, та може бути демонтована або ж оновлена без порушення фізичної складової будівель.

Зовнішній шар може бути виконаний в стилістично нейтральній формі – наприклад, скляними прозорими наскрізними панелями, або на легких металевих конструкціях, що композиційно не домінуватимуть в образі. В площинах зовнішньої оболонки можна інтегрувати, зокрема, сонцезатіняючі екрани, або ж елементи фотовольтаїчних активних систем. При формуванні нових будівель в межах історично складеного середовища, системи подвійної оболонки фасадів можуть застосовуватися, зокрема, як фасадний буфер, що пом'якшуватиме сприйняття сучасного об'єму.

2.Формування закритих просторів у вигляді атриумів та пасажів – метод, що належить водночас як до архітектурно-конструктивних, так і до об'ємно-формотворчих, та передбачає формування над основними приміщеннями, або у внутрішньому дворі чи відкритій зоні відкритий або склепінчастий внутрішній простір із прозорим чи зашкленним покриттям. Атриум може перетинати декілька поверхів, та будучи інкрустованим скляною обводкою або покриттям, він формує напівкліматизований буфер між фасадними лініями та внутрішнім простором будівлі (рис. 3.3).

Атриуми та пасажі виконують ряд функцій з точки зору енергозбереження: зокрема, значно зменшують потреби в обігріві через пасивне попереднє нагрівання повітря, що надходить у навколишні приміщення, зменшуючи таким чином енерговтрати на опалювальні системи (зокрема, інтеграція атриума в систему вентиляції може знизити первинне енергоспоживання на 17–22 %) [76]. Атриуми формують пасивну вентиляцію і температурний буфер - оскільки можуть функціонувати як природній канал, що виводить тепле повітря через вентиляційні шахти чи дахові люки, включені до атриумного об'єму.

Також, атриуми створюють соціально привабливий внутрішній простір із теплоаккумуляційними функціями, де теплова маса конструкцій продовжує виділяти тепло увечері. Естетично, атриум може бути втілений таким чином, що зовнішня фасадна оболонка залишається незмінною - інтервенція відбувається всередині по внутрішньому дворику чи проході, мінімально впливаючи на історичний силует.

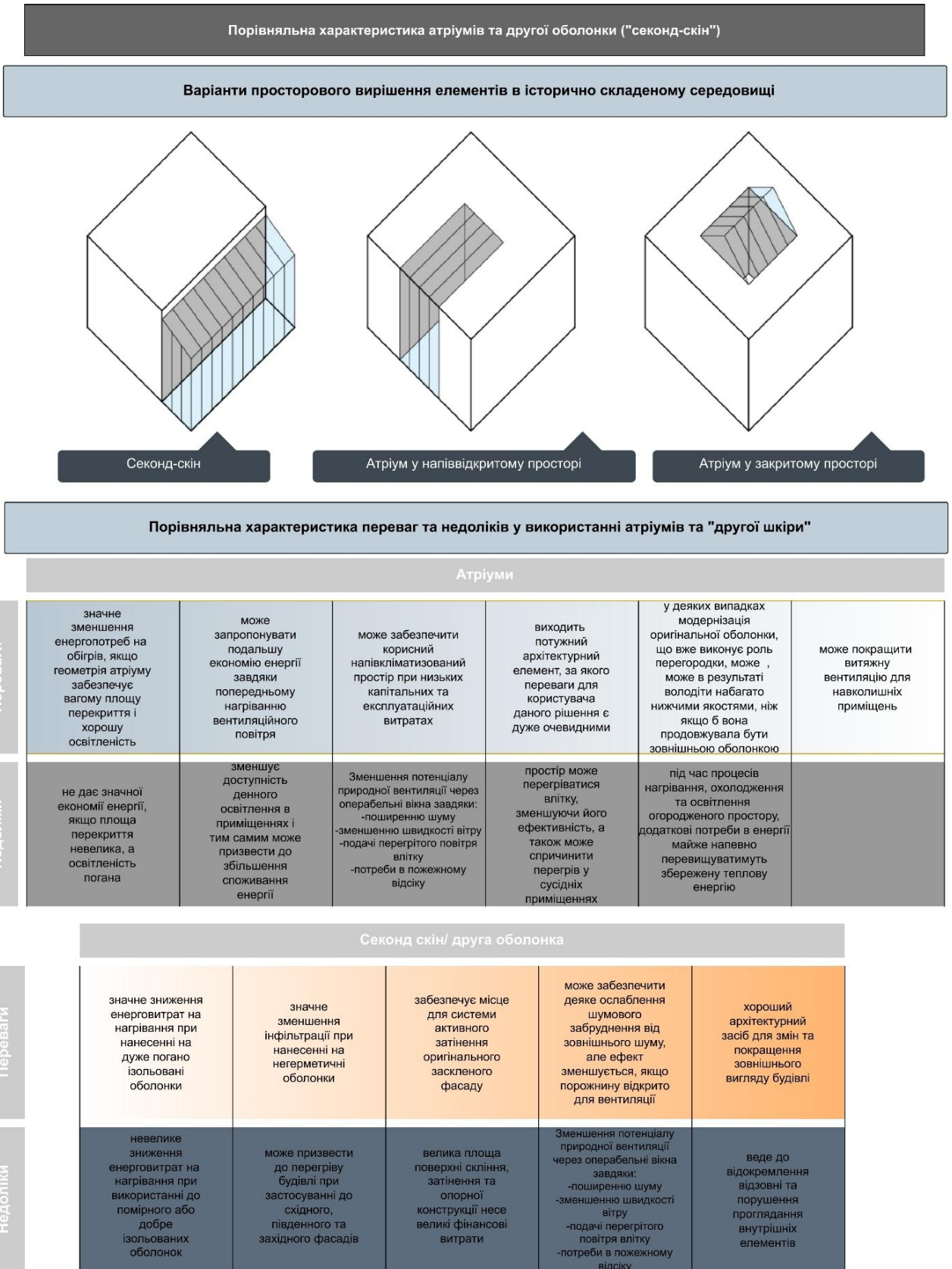


Рис. 3.2 Порівняльна характеристика енергоефективних архітектурних рішень із використанням атриумів та системи «другої оболонки».

Однак слід враховувати й деякі можливі недоліки при облаштуванні атриумних просторів. Перш за все, в деяких випадках, якщо площа під накриттям недостатньо велика, можливий варіант, де кількість отриманого денного світла все ж буде меншою, тому можуть знадобитися додаткові системи освітлення, що в подальшому призведе до збільшення експлуатаційних витрат. Крім того, може спостерігатися зменшення природного потоку вентиляційного повітря через вікна на периметрі будівель. В деяких випадках застелена зона може перегріватися в літній період.

Внутрішня конструкція атриуму, при належному розміщенні, не втручається в основні фасадні лінії, а навпаки - формує центр тяжіння внутрішнього простору, утворюючи композиційну вісь всередині дворів чи корпусів. При цьому форма атриуму - квадратна, прямокутна або кутова - має бути адаптована під конкретну забудову: практика показує, що невеликі, вузькі атриуми або ті, що орієнтовані на одну сторону будівлі, можуть дати кращу вентиляцію та освітлення, ніж великі симетричні каре-атриуми (тобто атриуми, зведені за принципом замкнутого периметра).

Різноманітність формотворчих можливостей при зведенні атриумів передбачає також широкі можливості щодо об'ємного внутрішнього розпланування. Дані принципи особливо доцільні при формуванні в межах громадських будівель з адміністративною функцією, де функціональна суть в основному передбачає взаємодію поміж користувачами, як в межах окремих робочих процесів, так і поза ними – задля морального та фізичного відновлення.

Таким чином, атриум набуває значення соціального та просторового елемента, що кінцево перетворює внутрішній простір на загальнодоступну, напівпублічну зону, що формує новий досвід у користувачів. Масштаб простору, з прозорими комунікаційними осями, зміщує акцент та увагу, попередньо зосередженні на робочих зонах, почленованих на ячейки вузькими коридорами, на атриумний простір зустрічей, комунікації та обміну думками.

Атриуми об'єднують різні функціональні зони - тут користувачі можуть працювати, відпочивати, чекати чи просто пересіктися поміж собою, а отже,

атріуми також забезпечують можливість випадкових або неформальних зустрічей, які часто сприяють підвищенню креативності й синергії в робочих процесах. В межах атріумних площ можуть формуватися нові функціональні буфери, які можуть слугувати як напівзакриті малі конференц-простори, лаунжі або місця коротких зустрічей. Атріум здатен підсилювати відчуття спільності та єдності «місця» для користувачів: окремі дослідження показують значне зростання соціального капіталу та відчуття належності в будівлях із атріумом порівняно зі звичайними будівлями [27].

3. *Архітектурно-розпланувальне зонування* на основі аналізу сонячної орієнтації та затінення – стратегія, що сприяє забезпеченню оптимальних показників мікроклімату через цільове позиціонування функціональних зон в залежності від їх сонячної експозиції.

Відповідно, розпланування приміщень будівель з адміністративною функцією, за принципами орієнтаційного дизайну, передбачає врахування вже вищезгаданих особливостей даного типу будівель, а саме високої щільності користувачів та визначений робочий графік з певними піковими навантаженнями. Таким чином, рекомендовано розташовувати найбільші робочі зони з великою потребою в освітленні та з найбільш активним користувацьким навантаженням протягом дня - вздовж південних фасадів, для максимізації сонячного випромінювання взимку, водночас передбачаючи адаптивні сонцезатіняючі пристрої для мінімізації перегріву в літню пору.

Вздовж східних фасадів доцільно організовувати зони прийому та очікування, конференц-зали та суміжні чи відпочинкові території - тобто ті приміщення, в межах яких буде допустимий пасивне сонячне нагрівання. Західні фасади найбільш схильні до літнього перегріву, тож їх доцільно відводити під приміщення з менш активним використанням, та де зосереджено менший потік користувачів, та водночас, екранувати їх сонцезатіняючими пристроями.

4. *Облаштування сонцезатіняючих пристроїв* – архітектурно-конструктивна стратегія, що зокрема в будівлях з адміністративною функцією - запобігатиме перегріву та забезпечуватиме комфортні параметри мікроклімату в

активні робочі години. Грамотна організація зовнішніх затіняючих пристроїв здатна як сприяти збалансуванню внутрішньої температури під час добових коливань, так і зменшувати пікове радіаційне навантаження на 10-40%, залежно від кліматичних умов навколишнього середовища будівлі, та системи конфігурації самих власне сонцезатіняючих пристроїв, екранів.

З архітектурно-формотворчого боку, сонцезатіняючі пристрої мають не лише функціональне навантаження, а й формотворче значення, оскільки можуть задавати ритм фасаду, вводити модульність та визначати пропорції. Наприклад, сонцезатіняючі пристрої у вигляді перфорованих панелей можуть формувати та підтримувати орнаментальну ритміку, що відповідає історичним орнаментальним традиціям, притаманних для конкретного історичного середовища.

У межах історично складеного середовища важливо інтегрувати сонцезатіняючі пристрої таким чином, щоб вони гармонійно співіснували з існуючим силуетом та композиційними осями. Форма пристроїв, кут нахилу ламелей та/або орнаментальні модулі мають бути адаптовані під прорізи вікон, розміри історичних рам, колористику опоряджувальних матеріалів – адаптовуючись під історичний образ складеного середовища. Ритміка сонцезатіняючих пристроїв та її характеристики, зокрема відстань, ширина та нахил, або ж членування та порядок розташування вертикальних/горизонтальних площин сонцезатіняючих пристроїв, мають відповідати загальним пропорціям фасадного ряду, та слідувати пропорціям композиційної сітки.

При інтеграції сонцезатіняючих пристроїв в громадські будівлі з адміністративною функцією, доцільним буде прийняття рішень щодо рухомих автоматизованих систем, що реагують на інтенсивність сонячного випромінювання, або ж змодельованих таким чином, щоб враховувати подобові піки сонячного освітлення частин фасаду, проєктуючи індивідуальний обертовий кут для кожного сонцезахисного пристрою біля кожного вікна. Дане архітектурне рішення передбачає також використання параметричних

інструментів для реалізації, для попереднього визначення подового сонячного навантаження, та задання відповідного обертового патерну.

5. Теплоаккумуляція в межах конструктивних систем будівлі – архітектурно-планувальна стратегія, доцільна для кліматичних умов України зокрема, що зосереджується на використанні масивних конструкцій з відповідних теплоємних матеріалів, що дозволяють накопичувати вдень тепло, вивільняючи його вночі для вирівнювання температурних коливань.

У планувальній структурі такі елементи можуть бути розміщені всередині будівлі наприклад, як ядро центрального атриуму чи як частина центральної зали з інсоляцією з верхньої купольної споруди чи сонячного димара. Дана стратегія сприяє збереженню відповідності історичному образу: теплоаккумуляційна маса може бути прихована за традиційним облицюванням або інтегрована в простір без формування вагомих силуетних змін. Дана стратегія особливо підходить до застосування в будівлях адміністративного призначення, де стабільність мікрокліматичних умов має першочергове значення.

6. Динамічна вентиляція та пасивне охолодження. На етапі проектування слід передбачати інтеграцію автоматизованих або напівавтоматичних механізмів провітрювання - вікна з можливістю нічного відкриття, вентилятори, шахти чи атриуми, що формують природні потоки повітря. Рациональна організація повітровідвідних стратегій, може забезпечити зниження HVAC-енергоспоживання на 30 % або більше.

Практика використання змішаного режиму вентиляції у приміщеннях з адміністративними функціями, що поєднують пасивні стратегії та механічні режими, здатна забезпечити суттєве зниження споживання енергії на функціонування механічних систем, та забезпечити покращену якість повітря, що критично важливо як для будівель з історичною цінністю, де втручання в фасад чи структуру обмежене, так і для адміністративних будівель, де робочий режим передбачає забезпечення належної якості повітря.

Разом із змішаним режимом вентиляції, доцільно також застосовувати пасивні системи нічного охолодження – зокрема в громадських будівлях, де

спостерігається велика теплова інерція, накопичена за день - а отже, доцільно застосовувати пасивні стратегії, що дозволяють активно використовувати прохолодне нічне повітря або примусову вентиляцію для охолодження масивних конструкцій будівлі, з метою зниження внутрішньої температури перед початком робочого дня.

Нічне охолодження можна забезпечити як через природне провітрювання, шляхом імплементації автоматизованих систем керування відкриття вікон, або ж через спеціальні вентиляційні отвори у стінах (за належних кліматичних умов), завдяки чому охолодження теплового масиву будівлі здійснюватиметься через пасивну конвекцію. Альтернативно, можуть застосовуватися механічні вентиляційні системи, що забезпечать високу кратність повітрообміну, проте накладатимуть додаткове навантаження на енергосистеми.

Поєднання обидвох методів у змішаному режимі дозволить зекономити частину енерговитрат на механічне охолодження, залучаючи його лише в тому разі, якщо природні системи будуть недоступними. На ефективність повітрообміну та пасивного охолодження також впливатиме матеріал конструкцій, оскільки чим вищою теплоємністю володітиме конструктивний матеріал, тим більше він затримуватиме теплове навантаження протягом дня, та віддаватиме його назовні у нічний період.

Енергозбереження через системи рекуперації тепла з ККД 60-95% суттєво знижує потреби в додатковому опаленні та охолодженні [29]. Відповідно, застосування гібридних систем може знижувати енергоспоживання на 20-60% [20], порівняно з варіантами, де застосовується суто механічна вентиляція, забезпечуючи таким чином стабільність параметрів комфортного внутрішнього середовища та підтримку оптимальної якості повітря при мінімальних енергетичних витратах.

7. Герметизація стиків, контроль інфільтрації та вторинне скління.

Одним із рішень є методи усунення повітропроникності: ущільнення швів у віконних фільонках, герметичність рами та стулок, застосування вторинного скління як внутрішнього шару без демонтажу зовнішніх автентичних рам – в

історично складених будівлях. Вторинне скління, у комбінації з низькоемісійним покриттям, здатне знизити тепловтрати через вікна на 60 % або більше, а герметизація швів - забезпечити додаткове зниження тепловтрат до 86 % при відносно невеликих інтервенціях [45]. Внутрішній прошарок може бути виконаний у вигляді знімних панелей або додаткової рамки. Вторинне скління повинне закріплюватися без втручання у зовнішній шар конструкції [95].

В межах параметричного алгоритму архітектурно-кліматичні прийоми стають не окремими ізольованими рішеннями, а інтегрованими параметрами генеративного процесу, що дозволяє аналізувати їхній комплексний вплив на мікроклімат, енергоспоживання та взаємодію з історично складеним середовищем. Кожен із прийомів - *подвійна фасадна оболонка, атріумні простори, сонцезатіняючі пристрої, орієнтаційне зонування, пасивне охолодження, теплоаккумуляційні системи чи динамічна вентиляція* - задається в алгоритмі як окремий параметричний компонент із визначеним діапазоном варіацій та набором взаємопов'язаних характеристик. Зміна геометрії фасадів, конфігурації атріумів, кута нахилу сонцезатіняючих елементів, площі скління, рівня вентиляційного повітрообміну чи теплоємності конструкцій автоматично змінює результати кліматичного та енергетичного аналізу цифрової моделі.

У структурі алгоритму архітектурно-кліматичні прийоми також виступають складовою багатокритеріальної оцінки. Їх ефективність оцінюється через систему кліматичних, енергетичних та контекстуальних показників - річне споживання первинної енергії, рівень денного освітлення, тепловий комфорт, ступінь перегріву, потенціал природної вентиляції, показники інсоляції та відповідність історичному морфотипу середовища. На основі результатів симуляцій алгоритм формує вибірку варіантів, де архітектурно-кліматичні прийоми комбінуються між собою відповідно до поставлених цільових функцій та контекстуальних обмежень. У випадку невідповідності заданим параметрам - наприклад, надмірного перегріву, порушення історичного силуету або перевищення допустимого енергоспоживання - рішення автоматично відсіюються системою булевих або гібридних фільтрів.

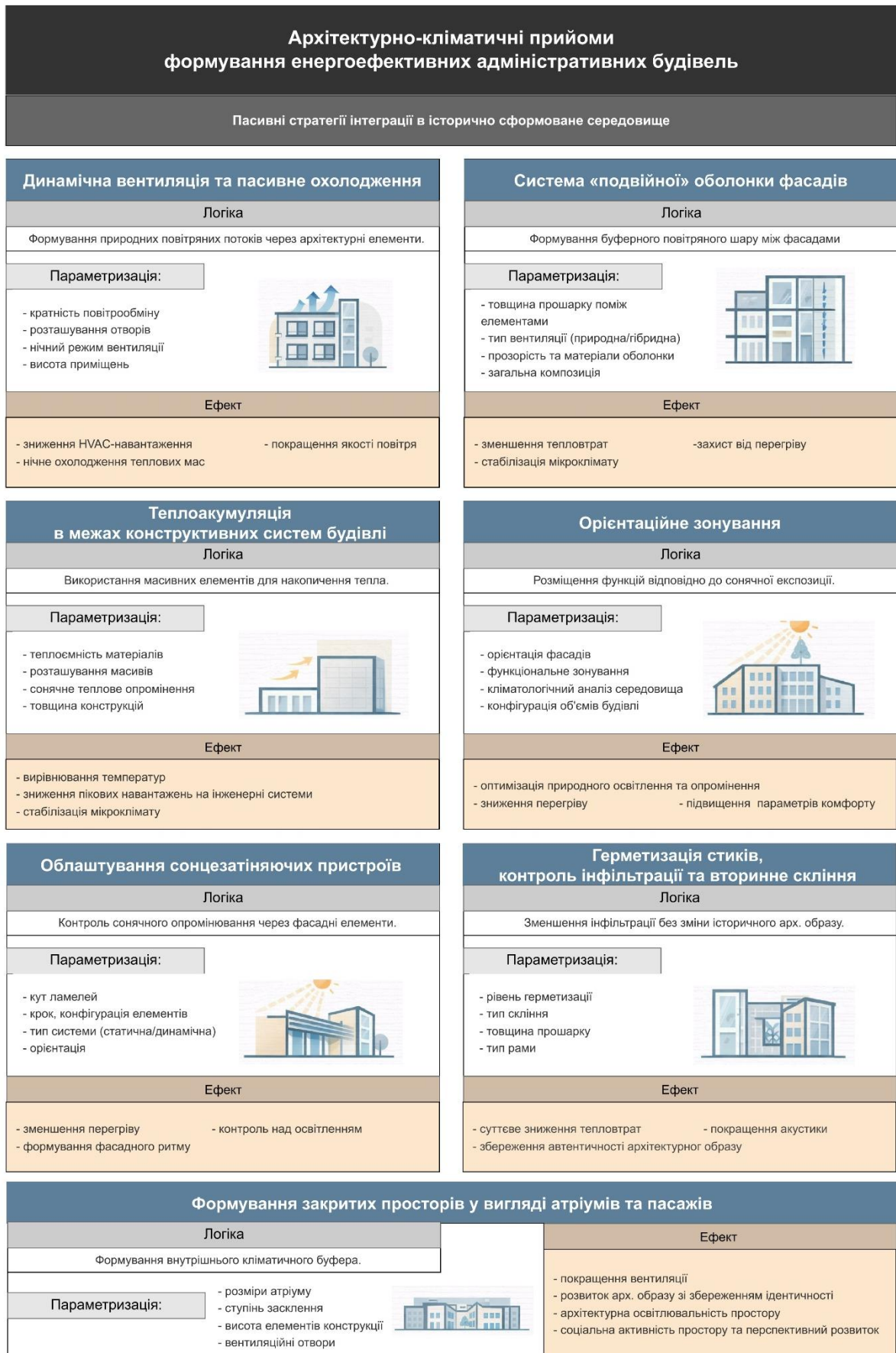


Рис. 3.3 Архітектурно-кліматичні прийоми

3.2 Функціонально-організаційні прийоми у формуванні енергоефективних будівель в історично складеному середовищі

При формуванні нових енергоефективних будівель з адміністративною функцією, доцільним є застосування комплексних функціонально-організаційних прийомів, що дозволяють врахувати не лише структурні та функціональні особливості нового об'єкта, а й його взаємодію з навколишнім простором, історичним контекстом і кліматичними умовами.

В основі методології даного дослідження - параметричний підхід до функціонально-організаційного моделювання, який дозволяє розглядати адміністративну функцію в будівлі як сукупність змінних функціональних блоків, орієнтованих на підвищення енергоефективності. Дана параметризація включає моделювання сценаріїв використання, врахування щільності, глибини забудови, організації горизонтальних та вертикальних комунікацій, оптимізацію теплових потоків, інсоляції, природного освітлення та аерації.

Доповнюючи вищезазначене, слід додати, що функціонально-організаційні прийоми в контексті формування енергоефективних будівель з адміністративною функцією не можуть бути універсальними чи шаблонними. Саме тому доцільно оперувати параметричною логікою, в межах якої змінні (інсоляція, вітровий режим, густина забудови, кількість буферних зон, глибина двору, щільність пішохідного трафіку тощо) формують умови, на які реагують планувальні рішення.

При цьому важливо підкреслити, що саме функціонально-організаційні стратегії формують логіку енергоефективного розвитку об'єкта: вони визначають, яким чином сонячна енергія потрапляє у внутрішні простори, як забезпечується природна вентиляція, яким чином внутрішнє зонування сприяє скороченню споживання енергії на освітлення, опалення, охолодження, водопостачання та збереження тепла. У контексті історично складеного середовища ці підходи мають іще одну важливу функцію - вони мінімізують техногенне навантаження на історично складене середовище, дозволяючи зберегти цілісність архітектурного ландшафту.

Крім вимог, зумовлених розташуванням у межах історично складеного середовища, формування громадських будівель з адміністративною функцією повинне враховувати типологічну специфіку самої функції. Однією з ключових особливостей є циклічність перебування користувачів, оскільки адміністративні, офісні простори мають чітко визначену добову та тижневу ритміку, з концентрованими піковими навантаженнями у ранкові та обідні години робочих днів, що формує специфічні вимоги до інсоляції, вентиляції та теплового режиму. Наприклад, більші об'єми теплового надходження зранку можуть частково компенсуватись буферними просторами, а системи вентиляції повинні бути здатні швидко адаптуватися до змін кількості людей у приміщенні.

Також важливе значення має раціональна організація вертикального та горизонтального зонування, що дозволяє ефективно розмежовувати адміністративні, технічні, публічні та допоміжні функціональні блоки. Оптимальне планування комунікацій (сходів, ліфтів, евакуаційних шляхів) має мінімізувати перетин потоків та сприяти енергозбереженню через зменшення площ, що потребують постійного обігріву чи охолодження.

Ще однією характерною ознакою є необхідність створення публічних приймальних зон, фойє, залів очікування та зон тимчасового перебування, які, з одного боку, забезпечують комфорт користувачів, а з іншого - створюють умови для енергоефективного розподілу потоків повітря та тепла. Умовно-ізолювані простори такого типу можуть виступати як термічні буфери, розташовані ближче до зовнішніх оболонок.

Також, типова офісна забудова передбачає велику кількість однотипних робочих місць у відкритих або комбінованих планах, у вигляді поєднання оупен-спейсів, конференц-залів, переговорних приміщень тощо, - так формуються передумови для стандартизації мікрокліматичних та енергетичних рішень, що дає змогу запроваджувати гнучкі системи керування освітленням, вентиляцією та опаленням, адаптовані до реального користувацького навантаження.

Відповідно формування громадських будівель з адміністративною функцією потребує чіткого визначення їхніх основних функціональних ознак,

що безпосередньо впливають на створення комфортного та стабільного мікроклімату приміщень, а також сприятимуть зменшенню експлуатаційних витрат. Серед виділених ознак варто згадати наступні:

1) Циклічність використання простору:

- циклічна (добова, тижнева, сезонна) ритміка перебування користувачів;
- пікові навантаження у визначені години, що вимагають гнучкого регулювання систем забезпечення оптимальних мікрокліматичних умов;
- можливість економії енергії та зменшення енерговитрат шляхом тимчасової дезактивації частини систем у непікові години.

2) Горизонтальне та вертикальне зонування, згідно раціоналізації функцій та активності користувачів:

- чітке розмежування публічних, адміністративних, технічних і допоміжних зон;
- мінімізація перетинів людських потоків;
- компактне розміщення комунікаційних вузлів.

3) Виділення буферних і проміжних зон:

- організація фойє, приймальних, зон очікування в ролі термічних бар'єрів, зокрема біля зовнішніх огорожувальних конструкцій для зниження тепловтрат.

4) Модульність та стандартизація робочих місць:

- повторюваність просторових функціональних елементів, що дозволяє уніфікувати інженерні рішення;
- впровадження автоматизованих систем контролю освітлення, вентиляції, опалення, та логіка їх організації згідно сталих визначених точок зосередження робочих місць офісного конгломерату.

5) Гнучкість планувальних рішень:

- можливість трансформації внутрішніх просторів без порушення загальної логіки зосередження та організації користувацьких потоків;
- можливість функціональної трансформації згідно поточних функціональних потреб – наприклад, можливість зміни співвідношення між

робочими, загальними та додатковими зонами залежно від потреб орендаря, зміни структури користувачів офісних будівель чи розвитку організації;

- потенційна адаптивність до зміни орендарів, функцій чи кількості працівників (в сторону розвитку адміністративного конгломерату), без втрат якостей мікроклімату, зручності та оптимізації енергоспоживання;

- можливість тимчасового перепрофілювання функціональних зон - створення умов для короткотермінового використання окремих зон під інші функції (наприклад, конференц-залу як коворкінгу або простору для подій), без втрати параметрів комфорту;

- вільне планування основних робочих зон - відсутність жорстко зафіксованих перегородок, можливість швидкої реорганізації простору з оупен-спейсу під кабінетну систему чи змішані формати.

б) Адаптивність систем до короткотермінового перебування значної кількості користувачів, понад передбачувані за загального користувацького сценарію норми – так звані, «пікові навантаження»:

- автоматизоване масштабування потужності вентиляційних, опалювальних систем, систем кондиціонування - для швидкого реагування на зміну кількості користувачів понад стандартно визначену завантаженість;

- тимчасове збільшення інтенсивності роботи інженерних систем (освітлення, кондиціонування, відведення тепла) у пікові години завантаженості;

- використання сенсорів присутності та датчиків виміру CO₂ ;

- організація буферних зон і багатофункціональних приміщень для розосередження людських потоків у час пікового навантаження;

- гнучке керування розкладом використання спільних приміщень (конференц-залів, їдалень, зон відпочинку) для зменшення пікових навантажень серед користувацьких потоків працівників адміністративних офісних будівель.

З огляду на помірно-континентальний клімат України, з його холодною зимою, спекотним літом, високою амплітудою температур і відносно невеликою тривалістю періоду активної інсоляції, функціонально-організаційні особливості енергоефективних будівель набувають особливих характеристик.

Система функціонально-організаційних прийомів формування енергоефективних адміністративних будівель

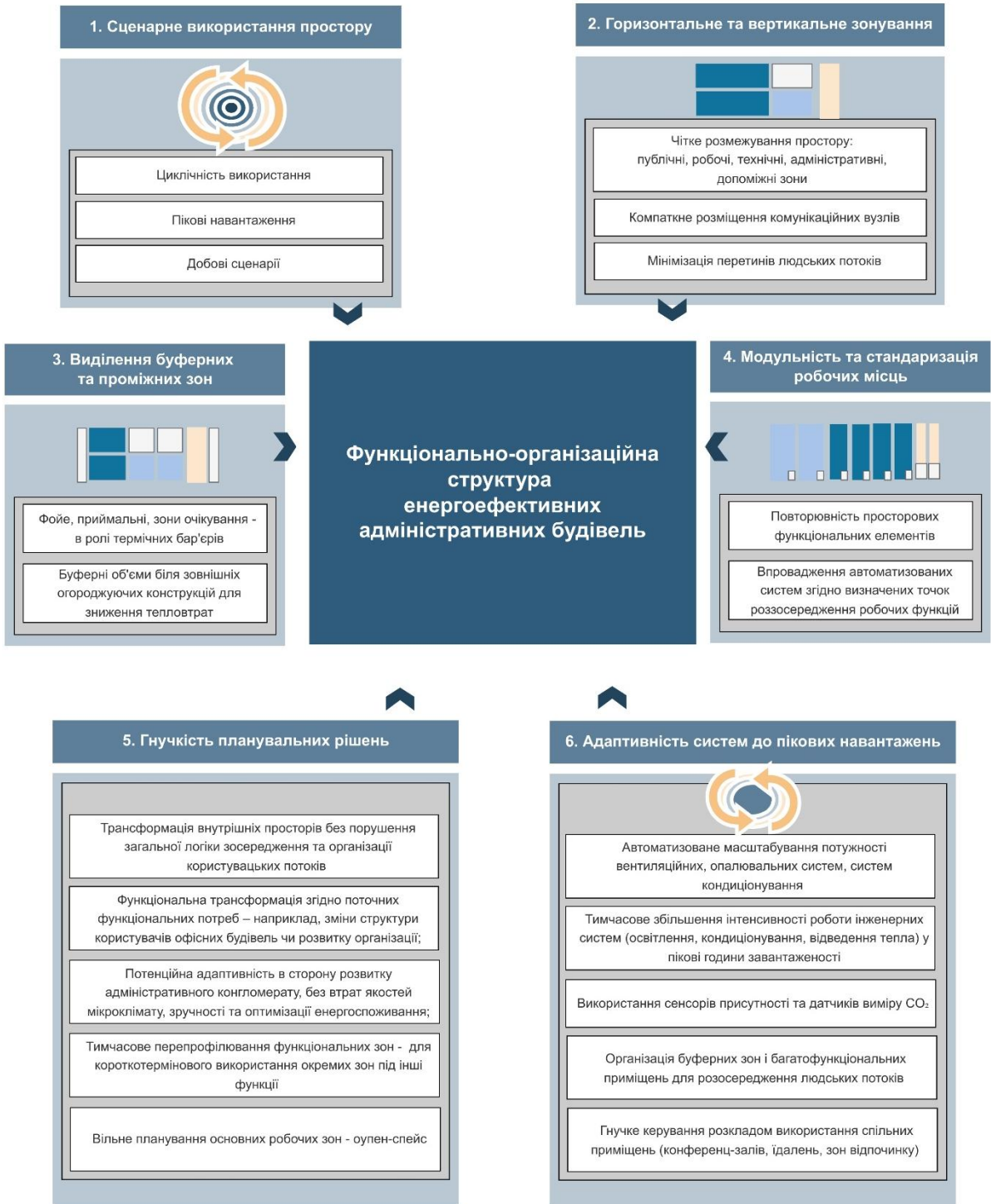


Рис. 3.4 Функціонально-організаційні прийоми

Відповідно, серед основних особливостей функціонально-організаційних прийомів слід виділити наступні (рис. 3.4):

-централізоване розташування теплового ядра та виділення буферних зон;

У кліматичних умовах України важливо забезпечити мінімальні тепловтрати взимку та стабільність мікроклімату влітку. Виділення осередку теплового ядра та технічної інфраструктури забезпечує стабільність мікроклімату, тоді як буферні коридори, холли чи фойє (менш забезпечені інсоляцією, зокрема) варто розташовувати по периферії, оскільки це знижує енергетичні витрати на кондиціювання та опалення;

-організація перехресної вентиляції та двостороння орієнтація вентиляційних шляхів;

Формування приміщень з доступом до зовнішнього середовища з двох протилежних боків забезпечує природний рух повітря завдяки різниці тисків та температур. Двостороння орієнтація вентиляційних шляхів дозволяє реалізувати перехресну вентиляцію навіть у щільній квартальній забудові. Особливо ефективною ця схема є для офісних і адміністративних приміщень, де глибина основних робочих зон складає до 5,5–6,0 метрів. Це рішення також сприяє організації природного повітрообміну без застосування механічної вентиляції;

-гнучкість, адаптація під зміну функцій та потреб користувачів;

Передбачає здатність будівлі адаптуватися до змін функціонального сценарію або складу чи потреб користувачів. Модульні конфігурації, оупен-спейс рішення та параметричний підхід до розпланування здатні забезпечити довгострокову гнучкість. Відповідно, в межах історично складеного середовища, де зовнішній образ не можна змінювати, важливо, щоб внутрішнє середовище залишалось функціонально нейтральним та не підв'язаним до лише одного виду діяльності та наповнення, тому доцільним буде також застосування сценарного зонування, що досягається симетричною сіткою колон, можливістю створення незалежних входів, гнучкими вертикальними зв'язками та "плаваючим" інженерним каркасом (у вигляді підвісних стель або фальшпідлог);

-забезпечення оптимізації теплових потоків через зонування;

Передбачає розподіл функцій: публічні зони, офісні блоки, технічні приміщення та буфери у межах логіки зонування, що дозволяє спрямувати користувацькі потоки, а також знизити тепловтрати. Користувацькі потоки генерують тепло, вологу та вуглецеві викиди. Відповідно, зони з високою щільністю користування (зони коворкінгу, аудиторії, конференц-зали, кав'ярні) повинні логічно групуватись і обслуговуватись окремими вентиляційними вузлами. Внутрішні переміщення користувачів повинні проектуватися так, щоб зменшити пересічення більш та менш активних маршрутів (наприклад, щоб вхідні тамбури не "вкидали" холодне повітря у зону постійної присутності людей).

Оскільки дане дослідження передбачає імплементацію параметричної логіки в процес проектування, то розгляд функціонально-планувальних прийомів, відповідно, поєднуватиметься з можливістю призначити їм ті чи інші числові значення, характеристики чи параметри, що в подальшому впливатимуть як на варіативність та підбір планувальних рішень, так і на підбір результатів, що якнайкраще відповідатимуть заданим вимогам щодо енергоефективності чи якості або ж особливостей планувальних рішень.

Відповідно, кожен прийом функціонально-планувальної організації розглядається не лише як концептуальна модель просторової побудови, а як динамічний інструмент, здатний змінювати свої параметри залежно від конкретних умов проекту, сезонних коливань мікроклімату або ж сценаріїв користування будівлею.

Параметричний підхід дозволяє на етапі проектування закладати алгоритми взаємодії між внутрішніми та зовнішніми просторами, визначати оптимальні пропорції функціональних зон, їх орієнтацію, глибину та взаємозв'язки з комунікаційними вузлами. Параметризація відкриває можливість гнучкого коригування планувальної структури, а також дозволяє формувати адаптивні моделі розвитку, здатні реагувати на зміни технологічних, соціальних і кліматичних факторів, а також морфологію об'ємів із змінними параметрами залежностей пропорцій та елементів.

У скороченому варіанті, процес параметризації функціонально-організаційних прийомів передбачає поетапну інтеграцію змінних, що відображають ключові просторові, енергетичні та експлуатаційні характеристики будівлі. На першому етапі здійснюється формалізація методів шляхом їх опису у вигляді алгоритмів або логічних правил, де кожен елемент планувальної структури отримує набір числових параметрів - розміри, пропорції, орієнтацію, рівень інсоляції, показники природної вентиляції тощо. Далі визначаються допустимі діапазони та взаємозв'язки між параметрами, що дозволяє генерувати варіативні конфігурації відповідно до заданих вимог. Наступний крок полягає у створенні моделі з можливістю автоматизованого підбору та оптимізації планувальних рішень за допомогою алгоритмів параметричного моделювання, що враховують як обмеження просторового контексту, так і цільові показники ефективності. Завершальним етапом є валідація отриманих варіантів через симуляцію, що дозволяє обрати рішення, яке найкраще поєднує відповідність вимогам щодо збереження середовища, комфорт користувачів, якість експлуатації та мінімальні енергетичні витрати.

У розширеному варіанті опису логіки параметризації функціонально-планувальних методів, робочий пайплайн у якому крок за кроком відбуватиметься часткове переведення концептуальних прийомів у набір змінних, що мають певний визначений діапазон згідно реальних умов та піддаються подальшій варіативності, виглядатиме наступним чином (рис. 3.5):

1) Моделювання контекстуальних умов згідно попереднього аналізу

Передбачатиме **збір вхідних даних**, а саме морфологію історично складеного середовища та первинне об'ємно-просторове вирішення у вигляді плями, визначеної на попередньому етапі згідно щільності забудови, історичних регламентів, орієнтації ділянки, користувацьких потоків тощо, а також **визначення ключових обмежень і можливостей**, як-от допустимої висоти, відступів, зон контекстуальної "глухоти" фасадів, зон з найкращою інсоляцією тощо, та нарешті, **подальше оцифрування**, тобто переведення даних у цифрову модель або ж параметричне середовище.

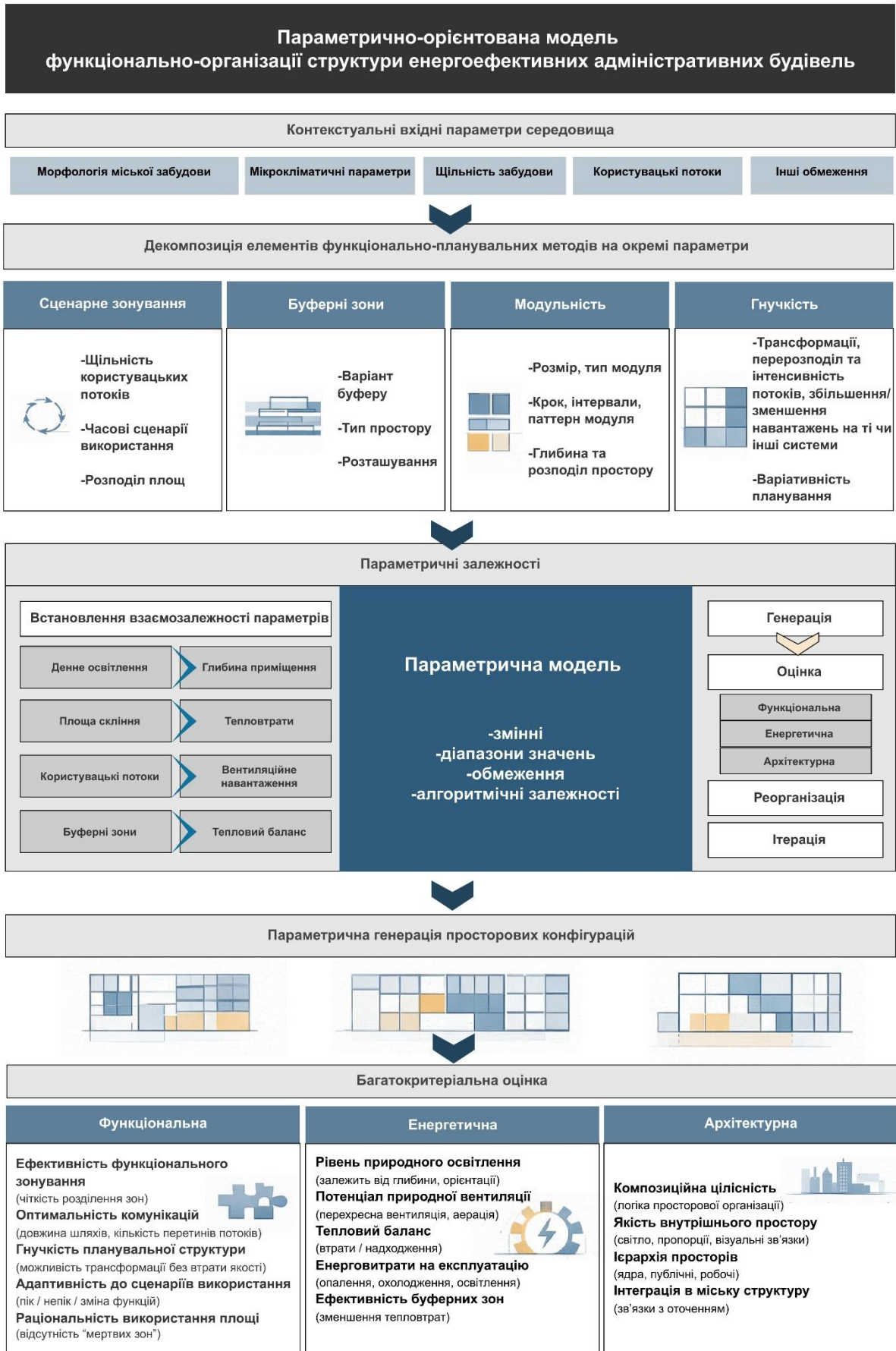


Рис. 3.5 Параметризація функціонально-організаційних прийомів

2) Декомпозиція основних змінних щодо виділених для практики методів

Даний етап передбачає здійснення детального *розподілу* функціонально-планувальних *прийомів на набір параметрів*, які надалі виступатимуть змінними у параметричній моделі. Для прикладу, у методах сценарного зонування, це будуть функціональні показники, зокрема частка площі під певний тип використання чи допустима щільність робочих місць. Додатково вводяться кліматичні параметри, а також просторово-часові характеристики, що описують кількість сценаріїв використання та тривалість активних і пасивних режимів. Усі параметри формалізуються у вигляді змінних із чітко визначеними допустимими межами та внутрішніми залежностями.

3) Встановлення залежностей поміж параметрами

Передбачає *побудову системи взаємозв'язків між* раніше сформованими *змінними*, що дозволяє створити цілісну параметричну модель, чутливу до диференціацій будь-якої з вхідних змінних. Наприклад, глибина відкритого оупен-спейсу безпосередньо впливає на природну освітленість робочих зон, а розмір і пропорції внутрішнього двору визначають мікроклімат суміжних приміщень та якість їх природньої вентиляції. Окремо фіксуються взаємні обмеження, коли зміна одного параметра змінює допустимий діапазон іншого, зокрема, наприклад збільшення площі скління може забезпечити вище забезпечення необхідних параметрів інсоляції, але водночас підвищує ризик тепловтрат у холодний період. Загалом, на даному етапі відбувається виявлення потенційних конфліктів між параметрами, наприклад, коли максимізація корисної площі суперечить вимогам до природного освітлення.

4) Параметричне моделювання варіантів

На цьому етапі здійснюється *побудова цифрової моделі будівлі*, у якій усі попередньо визначені змінні набувають динамічного характеру й можуть бути модифіковані у реальному часі, що дозволяє здійснювати швидку генерацію множини планувальних конфігурацій за різними сценаріями використання - зокрема, розробку рішень для літнього та зимового режимів експлуатації, або ж варіанти під пікове й непікове навантаження робочих просторів чи виокремлення

тих чи інших відпочинкових зон, або ж зон спільного чи іншого використання поміж загальним робочим конгломератом. Кожен з отриманих варіантів супроводжується розрахунками ключових показників енергоефективності та мікрокліматичного комфорту, що робить можливим комплексне порівняння альтернатив. Для підвищення результативності процесу застосовуються алгоритми оптимізації, здатні знаходити комбінації параметрів, які забезпечують одночасно енергетичну ефективність, ергономіку та за можливості відносно зовнішніх форм - інтегрованість у історичний контекст. У такий спосіб формується широкий спектр можливих функціонально-планувальних рішень, з яких далі обираються найбільш релевантні.

5) Оцінка та відбір найбільш оптимальних рішень

Після генерації широкого спектра параметричних конфігурацій відбувається етап їх **системної оцінки за багатокритеріальними показниками**. Кожен варіант аналізується з урахуванням рівня енергоспоживання, якості мікроклімату, акустичного та світлового комфорту, а також відповідності архітектурним обмеженням і регламентам, що стосуються історичного середовища - підбір тих чи інших багатокритеріальних показників відбувається згідно поставлених проєктних вимог, обмежень, цілей та задач. Окремо оцінюється гнучкість просторової організації - тобто здатність планувальної структури трансформуватися під змінні сценарії експлуатації, зберігаючи при цьому сталі параметри щодо якості та зручності архітектурного середовища, а також вимог щодо забезпечення енергоефективності.

Для об'єктивності оцінювання застосовуються як **кількісні**, так і **якісні методи аналізу**, при цьому важливою є не лише інженерна, а й архітектурна складова. До кількісних належать параметри, які піддаються прямому вимірюванню або розрахунку, зокрема, співвідношення корисної площі до площі комунікаційних зон, ефективність планувального модуля у забезпеченні компактності та скорочення енерговтрат, коефіцієнти природної інсоляції у різні пори року, а також просторові показники щільності та варіативності функціонального зонування. Якісні вимоги орієнтовані на архітектурну

відповідність та зручність користування простором: рівень візуальної та функціональної інтегрованості нової структури в історичний контекст, пластичність і логічність планувальних переходів між зонами, комфортність внутрішніх дворів чи атриумів як соціальних осередків, а також відповідність загальної композиції сучасним уявленням про ергономіку та гнучкість.

Після первинного відсіву відбувається цільовий відбір. На цьому етапі головним критерієм є відповідність запропонованих розпланувальних конфігурацій сформульованим проєктним завданням: забезпечення логічних та зручних комунікаційних зв'язків між основними функціональними зонами, досягнення ергономічності та комфорту користування просторами, оптимізація площі та уникнення «мертвих» або недоцільних зон. Окремо враховується енергоефективний потенціал планувальних рішень: орієнтація приміщень із різними функціями, організація наскрізної або перехресної вентиляції, гнучкість трансформації простору для скорочення експлуатаційних витрат у майбутньому.

Як вже було зазначено, система критеріїв відбору функціонально-планувальних варіантів у межах будівлі формується за трьома основними групами. До *функціональних критеріїв* належать зручність внутрішніх комунікацій, логічність взаємозв'язків між приміщеннями різного призначення, раціональність використання площі та відповідність організації простору сценаріям користування. *Енергетичні критерії* охоплюють орієнтацію приміщень відносно інсоляції, забезпечення достатнього рівня природного освітлення та вентиляції, мінімізацію теплових втрат через огорожувальні конструкції та оптимізацію мікроклімату. До *архітектурно-просторових критеріїв* відносяться цілісність композиції внутрішнього середовища, гармонійність пропорцій, можливість трансформації та адаптації планувальної структури під зміну функціональних сценаріїв у перспективі.

У результаті відібрані варіанти утворюють *основу для подальшої деталізації*: вони проходять опрацювання з позицій конструктивної реалізації, варіантів внутрішнього зонування, а також адаптації до можливих змін функцій у перспективі.

б) Ітеративна деталізація та інтеграція

Після відбору оптимальних функціонально-планувальних рішень настає етап їх поетапної інтеграції у фінальну планувальну схему, що передбачає уточнення просторових конфігурацій, корекцію пропорцій, перевірку ергономічних та інженерних рішень на відповідність вимогам енергоефективності, а також їх узгодження з реальними проєктними та контекстними обмеженнями. На цьому етапі відбувається поступова деталізація: ***від загальної структурної схеми до робочого планувального креслення***, що включатиме внутрішнє зонування, та закладання розташування інженерних вузлів, систем освітлення, вентиляції та інших елементів інфраструктури.

Особливістю даного етапу є його ***ітеративний характер***: кожне рішення проходить кілька циклів перевірки та коригування на основі розрахунків, симуляцій та експертних оцінок. Застосоване в процесі деталізації параметричне моделювання дає змогу швидко інтегрувати зміни у схему без втрати цілісності концепції, а сам процес проєктування перетворюється на динамічний процес.

Водночас, планувальна структура повинна мати резерв гнучкості, як-от можливість перепрофілювання окремих приміщень, трансформації робочих зон, варіативність у розміщенні внутрішніх перегородок. Важливим інструментом виступає створення ***багатофункціональних просторових ядер***, тобто зон, здатних одночасно виконувати кілька функцій або ж легко трансформуватися відповідно до потреб користувачів.

Серед прийомів слід також виокремити використання трансформованих меж простору, наприклад, за рахунок легких перегородок, рухомих стін чи візуально відкритих меж (скляні фасади, наскрізні візуальні зв'язки), які зберігають відчуття цілісності середовища навіть у процесі його функціональної перебудови. Ключовим принципом є також формування системи комунікаційних осей, що задають ієрархію руху та логіку користування просторами. Вдале розташування вертикальних та горизонтальних комунікацій дозволяє уникнути жорсткої прив'язки функцій до певних зон, залишаючи можливість варіювати їхнє наповнення без порушення цілісності композиції.

Врахування композиційних прийомів формують архітектурний образ та забезпечують варіативність використання простору. Серед них особливу роль відіграє робота з ієрархією просторових вузлів, що дозволяє створювати акцентовані точки притягання користувачів (атріуми, вестибюлі, галереї) та периферійні зони, здатні гнучко підлаштовуватися під нові функції. Подібна багаторівнева організація композиції сприяє інтеграції різних масштабів - від загальних громадських просторів до індивідуалізованих приміщень.

Важливим засобом виступає і робота з масштабністю та пропорціями простору. Використання подвійних висот, галерей чи відкритих атріумів надає інтер'єрам динаміки, створює потенціал для інтеграції додаткових функцій та дозволяє формувати просторові шари з різною інтенсивністю використання.

Використання сенсорних мереж та інтелектуальних систем збору даних дозволяє постійно відслідковувати параметри мікроклімату, зокрема, температуру, вологість, рівень освітленості, концентрацію вуглекислого газу, і адаптовувати їх до потреб користувачів у режимі реального часу.

7) Фінальна валідація та впровадження

Завершальний етап процесу передбачає **остаточну перевірку та підтвердження відповідності** інтегрованої функціонально-планувальної схеми встановленим критеріям і проектним цілям. Валідація здійснюється шляхом поєднання як кількісних методів, а саме енергетичних симуляцій, моделювання потоків користувачів, аналізу інсоляції та акустичного середовища - із якісними оцінками, що охоплюють ергономіку, комфортність та композиційну цілісність архітектурних рішень.

Ключовою складовою даного етапу є також апробація розробленої схеми у віртуальному або фізичному середовищі через застосування BIM-моделювання, цифрових двійників чи прототипування окремих просторових фрагментів. Результатом цього етапу стає готова до впровадження архітектурно-планувальна схема, яка виступає основою для робочої документації та подальшого будівництва, котра також містить механізми майбутньої адаптації, що забезпечує її стійкість до змінних умов експлуатації.

3.3 Об'ємно-просторові прийоми у формуванні енергоефективних будівель в історично складеному середовищі

Об'ємно-просторові прийоми є фундаментальним набором методів архітектурного планування та об'ємного моделювання, що базуються на інтеграції нових об'єктів у сформований історичний контекст з урахуванням кліматичних, функціональних, соціальних та енергетичних чинників. Їх метою є забезпечення органічного включення нової забудови в історичне середовище без втрати його автентичності шляхом регулювання силуету, форми, орієнтації, композиційної структури та внутрішньої логіки об'єму. Застосування генеративних методів дозволяє здійснювати ітераційний пошук оптимального об'ємно-просторового рішення шляхом тестування геометричних варіацій за критеріями контекстуальності, автентичності та енергоефективності (рис. 3.6).

Серед об'ємно-просторових прийомів формування енергоефективних будівель в історично складеному середовищі можна виділити наступні (рис. 3.7):

1. *Прийом лінійного замикання в межах історично складеної забудови* - це доповнення існуючих фризівих або фронтальних фасадів новими об'ємами, сформованими в стрічковому порядку, в архітектурну паралельну лінію забудови, зі збереженням регламентованих висоти й пропорцій фасадної лінії.

Даний прийом продовжує сформовану вуличну лінію вздовж існуючої сформованої осі, оскільки новий об'єм займатиме вільне місце між існуючими фасадами, зберігаючи безперервність візуального ряду, а також враховує висотні та фасадні пропорції навколишньої забудови, аби не порушити існуючу історичну ритміку та масштаб. Візуально, новий об'єм повинен слідувати інтервалам історичного фасадного ряду, не перевищуючи допустимий поріг висоти, а також існуючі співвідношення ширини до висоти. При цьому, матеріальне рішення новосформованого об'єму не повинне конкурувати з автентичними фасадами, а натомість - візуально заповнювати проміжок та бути максимально нейтральними (залежно від ступеню цінності забудови, оскільки при формуванні в межах малоцінної історичної забудови – допускається використання композиційних методів, відмінних від нюансних).

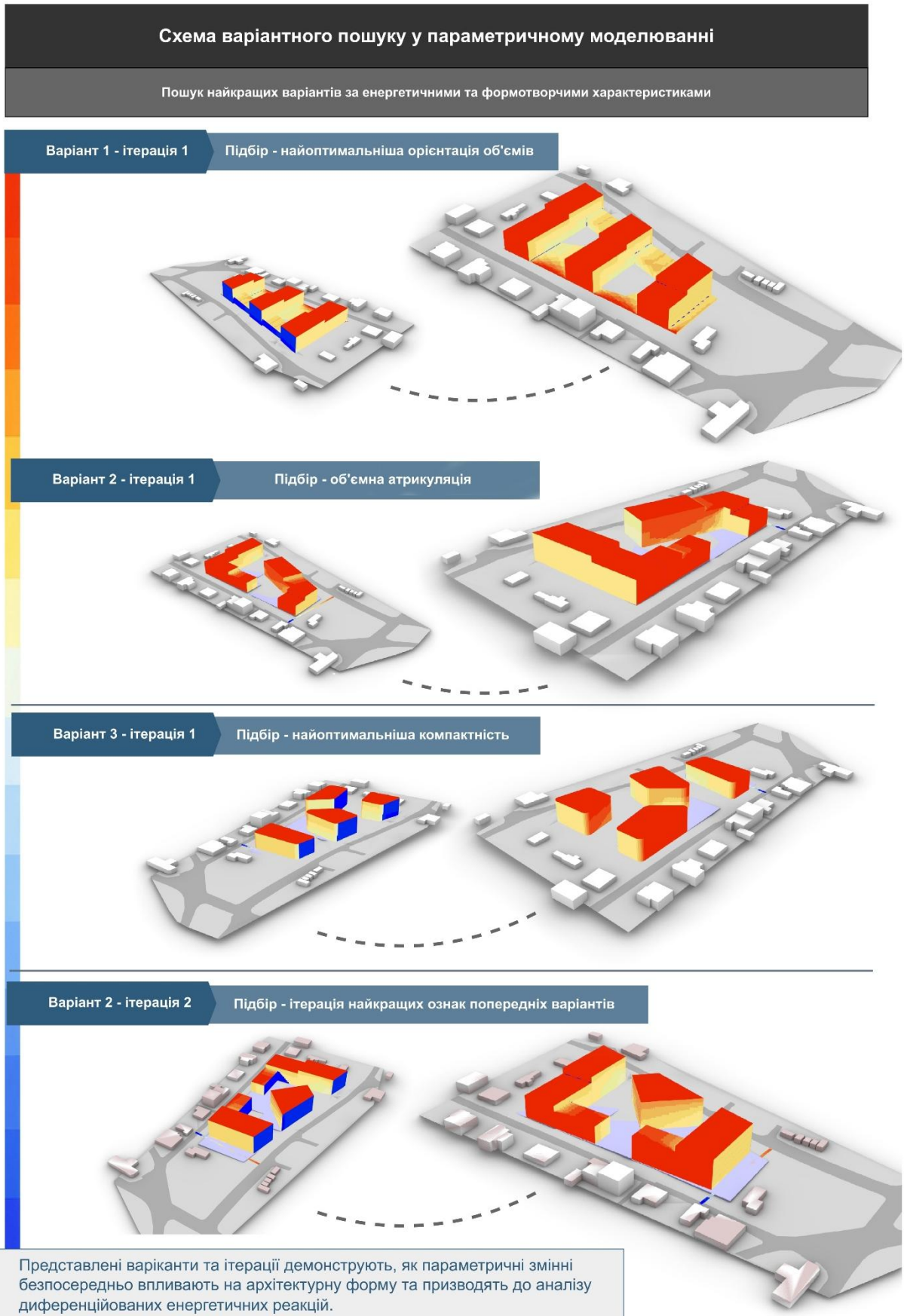


Рис. 3.6 Синтез об'ємно-просторового формування за генеративним методом

Нове об'ємне включення дає можливість розміщувати додаткові технічні елементи - а саме, елементи фотовольтаїки, рекупераційні вузли, зелені дахи - на поверхнях або на дахах нового об'єму, не змінюючи при тім історичні конструкції. Новосформовані об'єми також можуть служити «енергетичним буфером» для сусідніх історичних будівель, захищаючи їх від вітрових потоків і надмірного впливу зовнішніх метеорологічних коливань.

Новосформований об'єм закриває проміжки між будівлями, утворюючи безперервний замкнутий простір, де температурні втрати через торці мінімізуються, що дозволяє зменшити навантаження на опалювальні системи існуючих будівель. Утворений замкнутий простір поміж будівлями може утворювати центральний двір або атриум, що забезпечує природне освітлення і попередній нагрів припливного повітря.

2. Прийом окремого об'ємного включення в межах історично складеного середовища передбачає, що новий об'єм розташовується як автономна додана структура, та враховує просторово-функціональні, та стилістичні характеристики навколишньої забудови, але не копіює її фасадну лінію.

Даний прийом передбачає чітке просторове виділення нового об'єму, що утворює окрему архітектурну одиницю, гармонійно вписану в архітектурний комплекс завдяки продуманим пропорціям, масштабам та матеріальному вирішенню. Висота нового об'єму регулюється відповідно до існуючих історичних будівель, а відстані між новосформованим об'ємом та існуючими спорудами можуть утворювати функціональні внутрішні простори (дворики, проходи, озеленення). Залежно від цінності та ступеня збереженості історичної забудови, матеріальне вирішення новосформованого об'єму можливе як у стриманій колірній гамі з нейтральних матеріалів, так і як більш сміливі сучасні архітектурні акценти.

Окремий новосформований об'єм може слугувати важливим включенням для інтеграції активних енергоефективних рішень: на його дахових і фасадних площах можуть розміщуються сонячні панелі, рекупераційні системи, або ж зелені покриття, що сприяють зниженню енергоспоживання всього комплексу,

та забезпечуватимуть певну самостійну енергогенерацію. Водночас нова будівля також може виконувати роль кліматичного буфера, захищаючи сусідні історичні будівлі від вітрових та температурних коливань, частково мінімізуючи тепловтрати у навколишніх будівлях через підвищення щільності забудови архітектурного середовища. Формування нового окремого об'єму створює нові освітлювальні зони та шляхи для природного провітрювання, через зміну просторової конфігурації історично складеного середовища.

3. Прийом формування надбудов передбачає формування нових об'ємів на даху існуючих історичних будівель у вигляді мансардних поверхів, дахових вставок або легких конструкцій із сучасними інтегрованими рішеннями.

Підвищення енергоефективності через прийом формування надбудов базується на оптимізації основних параметрів будинку, а саме форми, планування, орієнтації, конструктивних рішень, що впливають на теплові втрати, інсоляцію, вентиляцію та енергоспоживання. Надбудова служить засобом не лише збільшення корисної площі, а й інтеграції інноваційних систем: розміщення фотовольтаїчних панелей, зелених дахів, систем рекуперації тепла, що сприяють зменшенню споживання зовнішніх енергоресурсів.

Ключовими критеріями при проектуванні надбудов в історичному середовищі є наступні:

-Відповідність регламентам висоти - надбудова не повинна перевищувати допустимий рівень історичного силуету.

-Матеріальна нейтральність і легкість конструкцій - використання сучасних легких, екологічних та можливих до демонтажу матеріалів.

-Оптимальна форма даху та мансардних поверхів - шляхом застосування компактних рішень для зниження тепловтрат.

-Функціональне зонування - співвідношення площі вікон до площі підлоги (1:6–1:8), орієнтація основних робочих приміщень у новосформованому об'ємі на південь для максимального використання сонячної енергії.

-Інтеграція інженерних систем - застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів, енергоефективного скління та вентиляції з рекуперацією тепла.

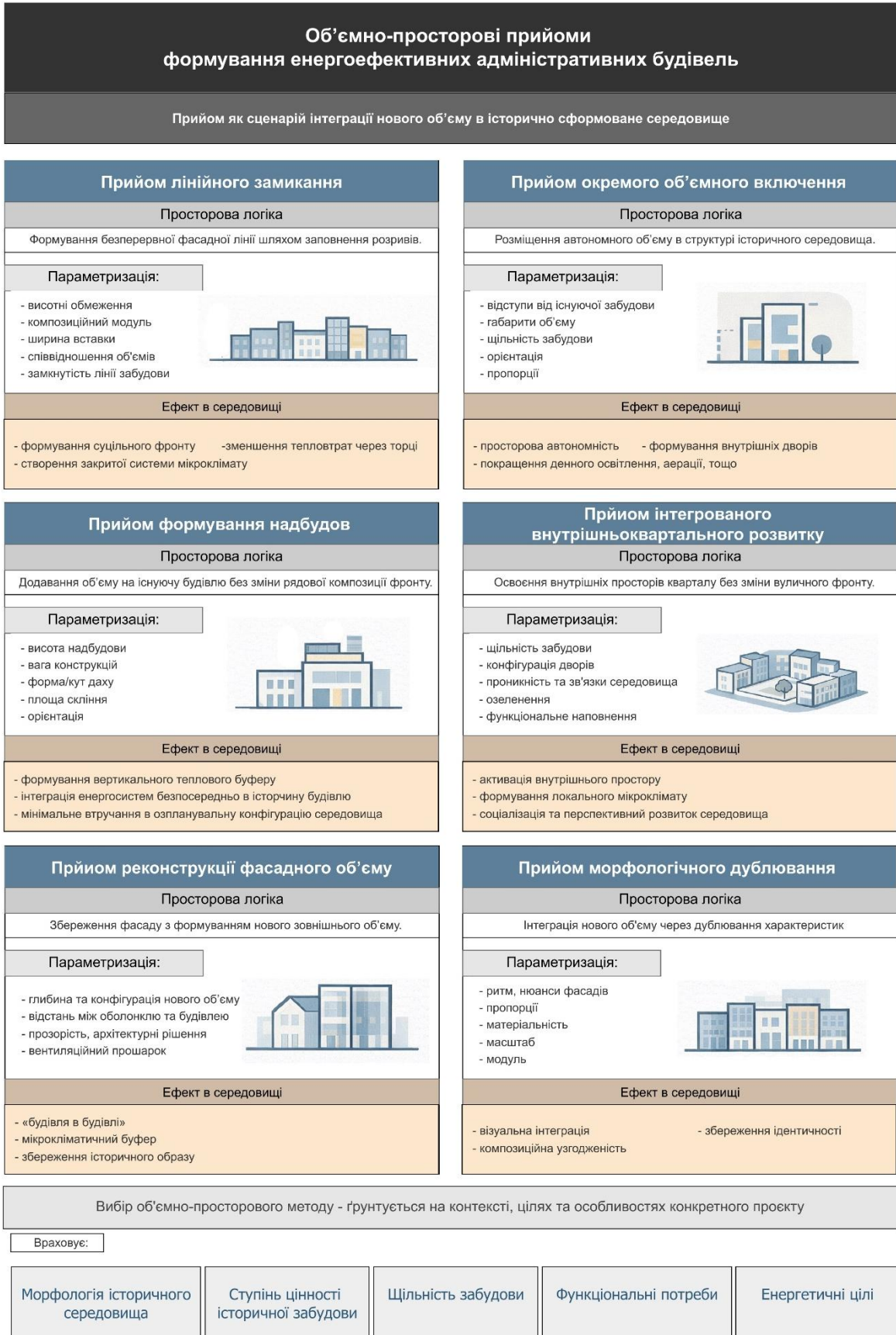


Рис. 3.7 Об'ємно-просторові прийоми

Конструктивно доцільним є застосування каркасно-рамних систем із легких металевих профілів, дерев'яного клеєного бруса або їх комбінацій, що мають низьке навантаження на перекриття. У ряді випадків використовуються модульні або панельно-каркасні рішення заводського виготовлення, які встановлюються з мінімальним втручанням в існуючий об'єм.

Конструкція надбудови має бути самонесучою або частково незалежною, аби не створювати додаткових напружень у старих стінах чи перекриттях. Найчастіше використовується опора на додатковий металевий просторовий каркас, який встановлюється на власний фундамент або ж розподіляє навантаження рівномірно через наявну плиту покриття. При цьому обов'язково виконується технічна оцінка несучої здатності існуючих конструкцій.

Надбудови дозволяють реалізувати покращену теплоізоляцію у шаруватих оболонках покрівлі, при цьому застосовуються сучасні ізоляційні матеріали з низькою теплопровідністю: пінополіуретан, мінеральна вата, вакуумні ізоляційні панелі тощо. Зовнішні поверхні можуть додатково оснащуватись вентиляльованими фасадними системами.

Конструктивна система надбудови дозволяє приховано монтувати вентиляційні канали, трубопроводи опалювальних та охолоджуючих систем, інвертори або інші технічні елементи. Дахове покриття може застосовуватись як своєрідна технічна платформа, де фотовольтаїчні панелі, рекуператори, теплові насоси та інші інженерні елементи монтуються на спеціальні несучі рами, не порушуючи герметичності основного покриття. Щоб уникнути передачі вібрацій і звуків до нижніх поверхів, застосовуються роздільні шари між надбудовою та існуючим перекриттям, зокрема еластомерні прокладки та віброізолюючі подушки. Особливо важливо запобігти виникненню містків холоду та точок роси - для цього слід забезпечити безперервність ізоляційного контуру.

4. Прийом інтегрованого внутрішньоквартального розвитку передбачає формування нових функціональних об'ємів, зокрема - у внутрішньоквартальних просторах, які раніше не використовувалися повноцінно або були зайняті маловиразними, застарілими, непридатними до експлуатації

елементами (флігелями, гаражами, підсобними спорудами, тимчасовими навісами, сараями тощо). На відміну від надбудов чи реконструкції фронтальної забудови, цей підхід не змінює силует вулиці й зберігає візуальну цілісність історичного середовища, зосереджуючи втручання на внутрішніх, менш чутливих до трансформацій ділянках.

В контексті функціонального наповнення та соціальних аспектів розвитку адміністративна функція та її допоміжні одиниці поживляють економічне життя середовища, стимулюючи розвиток навколишньої інфраструктури.

Адміністративні об'єкти можуть містити відриті публічні простори - холи, кав'ярні, майданчики для коворкінгу, заодно повертаючи внутрішньоквартальний простір місту за рахунок різноманіття новосформованих включень. Якщо внутрішньоквартальний розвиток відбувається через формування напівкритих приміщень, або з виокремленням пішохідної домінанти - забезпечується регламентований доступ пішоходів до внутрішніх просторів (провулки, пасажі, мікроплощі).

Внутрішнє перетворення дозволяє делікатно інтегрувати адміністративну функцію - не лише без шкоди для історичного середовища, а й із суттєвим покращенням функціонального, соціального та енергетичного потенціалу території. Оскільки малоцінні, функціонально неактивні внутрішньоквартальні ділянки зазвичай позбавлені щільної забудови та не мають охоронного статусу, вони створюють умови для гнучкого маневрування в конструктивних і інженерних рішеннях.

Демонтаж застарілих флігелів чи підсобних споруд відкриває можливість для раціонального зонування ділянки, враховуючи природну інсоляцію, напрям вітрів, планування конгломерату зелених насаджень та прокладені мережі. Будівництво на місці тимчасових чи непридатних об'єктів дозволяє закласти сучасні фундаменти з термоізоляцією, влаштувати утеплені цокольні поверхи, облаштувати енергоефективні покриття дахів і фасадів, не обмежуючись параметрами старої забудови.

Вивільнені внутрішньоквартальні території можуть розглядатись як платформи для створення енергоефективних локальних кластерів. Можуть поєднуватися відразу кілька рішень: геотермальне опалення, сонячні панелі на дахах нових будівель, зелені зони як буфери тепла та шуму, системи збору дощової води для технічного користування.

5. *Прийом реконструкції фасадного об'єму* передбачає полягає в збереженні історичної фасадної оболонки - часто цінної забудови - і одночасному формуванні нового внутрішнього об'єму за цим фасадом. Нове ядро будівлі може з'являтися у вигляді вставного об'єму, надбудови або конструкції «подвійного фасаду».

Історичний фасад при цім реставрується або реплікується, стаючи зовнішньою оболонкою нового об'єму. Новий об'єм формується всередині або за фасадом, поєднуючи історичну забудову з внутрішньою сучасною структурою через вентиляований прошарок - полегшене скло, металеві ферми, простір вентиляції для теплоаккумуляції і мікрокліматичного буфера. Частина внутрішнього простору можуть бути освітлені через вставні скляні об'єми, атриуми або світлові шахти, що підвищують природну інсоляцію та вентиляцію.

Слід зазначити, що окрім термоізоляційної функції, вентиляований прошарок між фасадами забезпечує налаштовану вентиляцію, регулюючи температуру влітку та взимку, що зменшує енергетичні витрати до 40–50 % у загальному річному балансі [83].

Даний прийом дозволяє інтегрувати офіси, галереї, культурно-адміністративні простори, - внутрішній об'єм розміщується за старою оболонкою, створюючи гармонійне сполучення старого та нового. Прийом також дозволяє оживити фрагменти історичної забудови, які перебували у занепаді, шляхом переосмислення їхньої конструктивної та функціональної ролі.

Основу енергоефективного розвитку тут становить так звана об'ємна формація «будівля в будівлі»: збережений зовнішній історичний об'єм виконує роль буферу, який захищає внутрішній кліматичний контур від різких зовнішніх коливань температури, шуму та вітрового навантаження [193].

Прийом реконструкції фасадного об'єму також забезпечує кумулятивний ефект для історично сформованого середовища: оновлені будівлі знижують локальне теплове навантаження, зменшують утворення «островів тепла» в умовах щільної міської забудови, а також створюють прецедент інтеграції нових функцій без знищення історичної тяглості. Внаслідок цього середовище стає не лише естетично цілісним, але й енергетично збалансованим, здатним відповідати вимогам сталого розвитку та адаптовуватись до сучасних реалій.

Інтеграція технологій енергозбереження в межах реконструйованого фасадного об'єму дозволяє адаптувати енергоспоживання до вимог щодо забезпечення параметрів комфорту при експлуатації будівлі, згідно її типології, тобто адміністративної функції. Таким чином, можна також домогтися зменшення енергетичних втрат. Також, зокрема, в межах новосформованого об'єму можна імплементувати смарт-системи контролю, для регулювання використання ресурсів згідно поточних користувацьких потреб.

Окрім вентиляційного прошарку, застосування додаткових рішень - зокрема систем потрійного скління з низькоемісійним покриттям, рекуперативна вентиляція, адаптивне світлорегулювання, фасадна автоматика, застосування інфрачервоних бар'єрів та термокамер - дозволяють точно налаштувати мікроклімат у межах нового об'єму згідно поточного користування, не перевантажуючи системи опалення чи кондиціонування.

6. Прийом морфологічного дублювання передбачає інтеграцію нового адміністративного об'єкта у сформовану морфологічну структуру міського середовища через часткове або повне дублювання просторових, композиційних та пластичних характеристик історичної забудови. Його мета - забезпечити видиму інтеграцію сучасної будівлі в структуру вулиці, кварталу чи ансамблю, не руйнуючи історичний характер простору.

Перш за все, даний прийом забезпечує якнайвідповідніше масштабне узгодження з оточенням: повторення або модифіковане відображення висоти поверхів, загальної висотності, лінії карнизу та пропорцій фасаду та збереження рівня забудови та її фронтальності уздовж вуличного простору. Пластична

адаптація за даним методом відбувається за допомогою дублювання членування фасаду - ритму вікон, простінків, карнизів, та за допомогою застосування текстур, кольорів та матеріалів, притаманних локальному історичному контексту (наприклад, тиньковані поверхні, натуральний камінь, клінкер).

Типологічне наслідування за прийомом типологічного дублювання передбачає дотримання модуля забудови, типового для конкретної вулиці або ансамблю. Проектування входів, вестибюлів та проїздів може відбуватися у композиційно притаманних місцях для даного середовища. Важливо також уникати домінування за висотою, об'ємом чи виразністю фасаду порівняно з навколишніми історичними будівлями, та забезпечити нюансну інтеграцію нової будівлі в загальний силует середовища.

Попри формальну адаптацію до історично складеного середовища, функціональне та конструктивне наповнення будівлі проектується як таке, що відповідає сучасним вимогам, зокрема- з використанням вентилязованих фасадів із мінераловатною ізоляцією та облицюванням, що імітує історичні матеріали.

Важливим є вже вищезгадана щодо попередніх прийомів інтеграція smart-система контролю за мікрокліматом, а саме застосування розумних систем освітлення, вентиляції, рекуперації тепла - на основі зонування офісних просторів. Можливим є поєднання з прийомом формування внутрішнього простору у вигляді атріумів - як природного вентиляційного та освітлювального доповнення, візуально неактивного з зовнішнього об'єму.

Інструмента реалізація об'ємно-просторових прийомів формування енергоефективних будівель у межах історично складеного середовища передбачає застосування генеративних еволюційних алгоритмів, що дозволяють досліджувати широкий спектр варіантів фасадних та об'ємних рішень. Зокрема, еволюційний генеративний підхід передбачатиме паралельне формування множини варіантів, їх оцінку за визначеними критеріями та подальший відбір найбільш ефективних рішень.

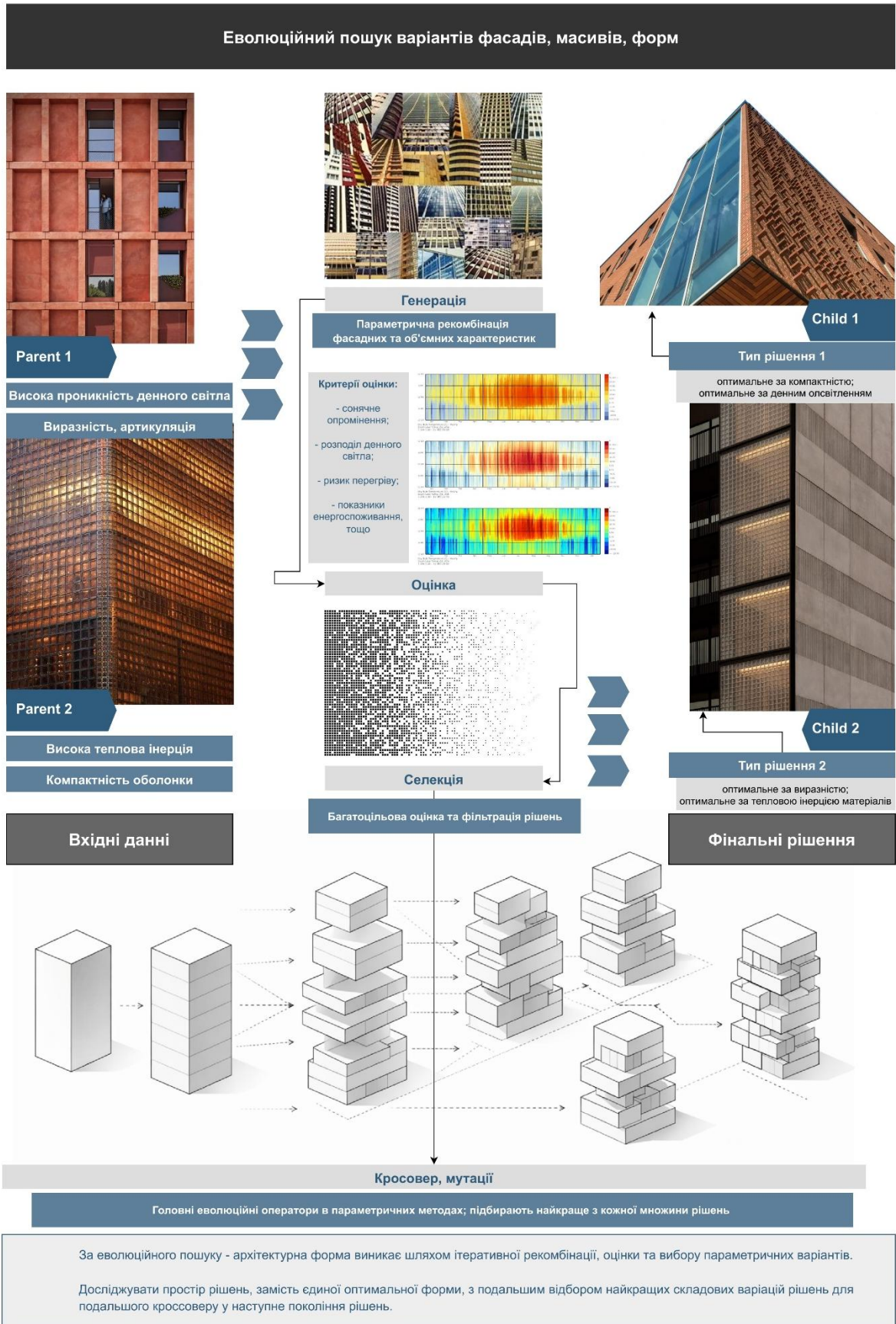


Рис.3.8 Генеративний еволюційний пошук формотворчих рішень

Схема на рис. 3.8 демонструє принцип еволюційного пошуку варіантів фасадних і об'ємно-просторових рішень, де вихідні параметри формуються на основі декількох базових архітектурних типів. Кожен з цих вхідних типів може характеризуватися певними просторовими або ж енергетичними властивостями, зокрема, високою проникністю денного світла, виразністю фасадної структури, тепловою інерцією або компактністю оболонки будівлі. Процесуальна логіка генерації передбачатиме комбінацію цих параметрів через операції рекомбінації, мутації та селекції, формуючи нові варіанти архітектурної форми.

У процесі інтеграції нових енергоефективних будівель у межах історично складеного середовища важливим є не лише формування архітектурної форми або функціональної структури об'єкта, але й системна оцінка допустимості такої інтеграції. Історичне середовище характеризується наявністю чітко сформованих композиційних та матеріальних характеристик, що визначають його ідентичність і культурну цінність, а отже, будь-які нові архітектурні включення повинні розглядатися з точки зору їх відповідності або потенційної сумісності з основними параметрами історичного середовища (рис. 3.9).

У випадку об'ємно-просторових прийомів параметризація базується не лише на зміні окремих числових характеристик будівлі, а насамперед на алгоритмічному формуванні самої геометрії архітектурного об'єму. Основою такого підходу є представлення архітектурної форми як системи взаємопов'язаних геометричних елементів - вершин, ліній, кривих, ребер, граней, поверхонь та полігональних сіток, параметри яких можуть змінюватися відповідно до заданих умов.

У параметричних алгоритмах формування енергоефективних будівель у межах історично складеного середовища геометрія об'єкта може формуватися на основі каркасних ліній, поверхонь NURBS, полігональних сіток або воксельних структур, які деформуються відповідно до контекстуальних, кліматичних та функціональних параметрів. Наприклад, фасадна поверхня може змінювати кривизну чи густоту членувань залежно від сонячної радіації, а форма даху -

адаптуватися до параметрів інсоляції, кута падіння сонячного світла або допустимих висотних меж історичного середовища. Вершини та контрольні точки поверхонь можуть зміщуватися за визначеними алгоритмічними правилами, формуючи адаптивну геометрію, що реагує на зміну зовнішніх умов.

Відповідно, архітектурна форма виникає як результат взаємодії параметрів, а не як наперед заданий статичний об'єм. Базові алгоритмічні методи параметризації об'ємно-просторових рішень можуть включати операції екструзії, деформації, рекомбінації, субдивізії поверхонь, морфінгу, топологічної трансформації та адаптивного розбиття геометрії. Наприклад, контур забудови може формуватися через систему опорних кривих та регулювальних ліній, після чого алгоритм автоматично генерує об'єм шляхом екструзії поверхонь із подальшою адаптацією форми до інсоляційних, вітрових або морфологічних обмежень середовища.

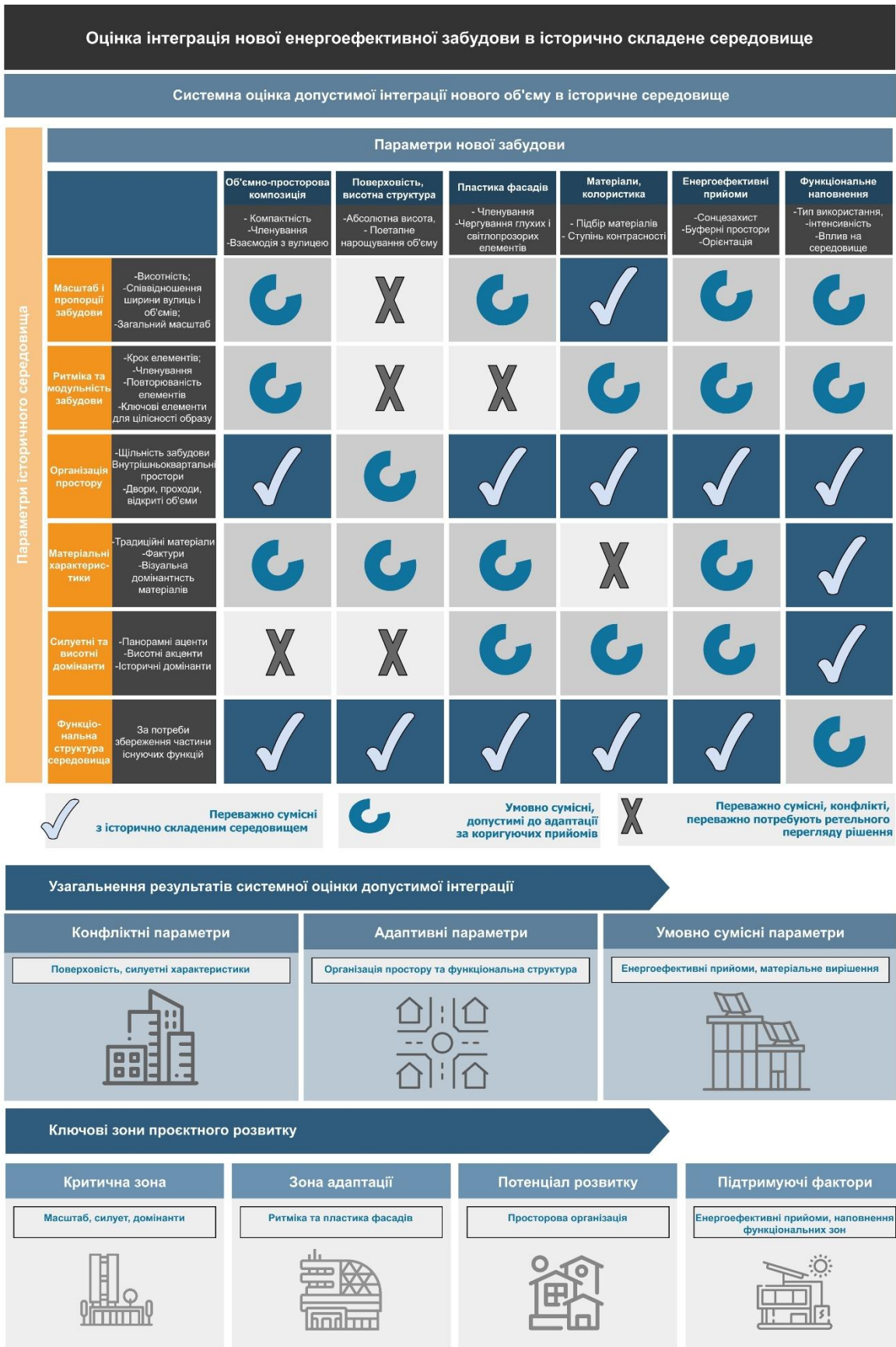


Рис. 3.9 Структурна схема оцінки допустимої інтеграції нової забудови в історично сформоване середовище.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ III:

1. Аналіз архітектурно-кліматичних прийомів формування енергоефективних будівель, що базуються на комплексному врахуванні кліматичних, містобудівних, морфологічних та функціональних чинників, дозволив виявити такі основні прийоми: *системи подвійної фасадної оболонки, атріумні простори, орієнтаційне зонування, сонцезатіннюючі елементи, динамічну вентиляцію, пасивне охолодження, теплоаккумуляцію конструкцій, герметизацію та вторинне скління.*

2. Встановлено, що *архітектурно-кліматичні та функціонально-організаційні прийоми* можуть інтегруватися в параметричний алгоритм у вигляді системи взаємопов'язаних змінних, де параметри будівлі (геометрія, інсоляція, затінення, мікроклімат, характеристики конструктивно-інженерних систем та інтенсивність навантаження) автоматично адаптуються відповідно до кліматичних, функціональних і контекстуальних умов середовища.

3. Визначено доцільність застосування *функціонально-організаційних прийомів*, спрямованих на забезпечення адаптивності будівлі та покращення їх енергоефективних характеристик, зокрема, *централізованого розташування теплового ядра, формування буферних зон, використання модульних і трансформованих планувальних структур.*

4. В результаті проведеного моделювання підтверджено, що інтеграція *атріумних просторів, внутрішніх дворів та комунікаційних ядер* забезпечує одночасне підвищення ефективності природного освітлення, вентиляції, теплоаккумуляції та соціальної взаємодії користувачів, формуючи комплексний енергоефективний мікроклімат будівлі.

5. Сформульовано *об'ємно-просторові прийоми* формування енергоефективних будівель у межах історично складеного середовища, які базуються на принципах контекстуальної інтеграції, збереження морфологічної структури та покращення енергетичних характеристик забудови. Серед основних прийомів визначено: *лінійне замикання історичної забудови, окреме об'ємне включення, формування надбудов, інтегрований*

внутрішньоквартальний розвиток, реконструкцію фасадного об'єму та морфологічне дублювання.

б. *Інструментально-цифрова реалізація* об'ємно-просторових прийомів доцільна із застосуванням *генеративних та параметричних методів* проєктування. Встановлено, що параметризація об'ємно-просторових рішень базується на алгоритмічному формуванні геометрії через систему взаємопов'язаних вершин, ліній, кривих, поверхонь і полігональних структур, параметри яких змінюються відповідно до кліматичних, морфологічних і функціональних факторів. Використання *еволюційних алгоритмів* забезпечує *багатоваріантний пошук та оцінку* рішень за критеріями контекстуальності, енергоефективності та просторової узгодженості.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено *передумови формування енергоефективної архітектури в історичному середовищі*. Проаналізовано та систематизовано соціально-економічні, містобудівні, екологічні та функціональні фактори, що визначають необхідність інтеграції нових енергоефективних будівель у сформовану забудову, а також виявлено зв'язок між вимогами збереження історичного середовища та впровадженням сучасних технологій.

2. Систематизовано наукові підходи та досвід проектування енергоефективних будівель. Узагальнено вітчизняний і зарубіжний досвід їх проектування, що дало можливість визначити ключові принципи інтеграції нової забудови в історичний контекст без порушення його цілісності.

3. Сформовано теоретико-методичні основи параметричного формування енергоефективних громадських будівель у межах історично складеного міського середовища, що базуються на інтеграції містобудівних, кліматичних, функціональних, морфологічних та енергетичних параметрів у систему багатокритеріального архітектурного моделювання. Розроблено модель аналізу історичного середовища, яка передбачає розгляд об'єкта на декількох взаємопов'язаних рівнях: містобудівному, об'ємно-просторовому, функціональному та інженерно-технічному.

4. Обґрунтовано доцільність застосування *параметричних та алгоритмічних методів* проектування як інструментів, здатних інтегрувати багатофакторні вимоги історичного середовища в єдину систему прийняття архітектурних рішень. Встановлено, що параметричний підхід дозволяє перейти від послідовного опрацювання окремих характеристик до інтегрованої *багатокритеріальної оцінки*, яка дозволяє одночасно враховувати *взаємозалежні просторові, енергетичні та контекстуальні чинники*.

5. Розроблено *параметричний алгоритм* формування енергоефективних будівель у межах історично складеного середовища, який включає етапи *передпроектного аналізу, параметризації характеристик, генерації*

варіантів, фільтрації та оцінки рішень на основі енергетичних, функціональних і контекстуальних критеріїв.

6. Визначено структуру *багатоцільової оцінки* як системи взаємопов'язаних енергетичних і контекстуальних критеріїв оцінки проектних рішень. Обґрунтовано доцільність використання *жорстких і м'яких цільових функцій*, а також *гібридної моделі* оцінювання для забезпечення збалансованого відбору архітектурних рішень.

7. Обґрунтовано доцільність використання еволюційного *алгоритму SPEA-2* як інструменту багатокритеріальної параметричної оцінки, що забезпечує *формування Pareto-фронту, генерацію, селекцію та багатоваріантний відбір* архітектурних рішень у складних параметричних системах. Встановлено, що *застосування паралельної компутації* дозволяє підвищити ефективність генеративного процесу та масштабованість алгоритму.

8. На основі реалізації розробленого алгоритму визначено, що:

- *архітектурно-кліматичні прийоми* формування енергоефективних будівель є частиною інтегрованої системи взаємопов'язаних рішень, спрямованих на поліпшення теплового балансу, інсоляції, природної вентиляції та мікрокліматичних характеристик будівлі. Найбільш ефективними є комплексні пасивні стратегії, що поєднують *використання подвійних фасадних оболонок, атріумних просторів, пасивного охолодження, сонцезатіняючих елементів та теплоакмуляцій конструкцій*;

- параметризація *функціонально-організаційних прийомів* дозволяє розглядати будівлю як систему взаємопов'язаних просторових, енергетичних та експлуатаційних параметрів. Встановлено доцільність використання функціонально-організаційних прийомів, спрямованих на управління *інтенсивністю навантаження*, як-от централізованого розташування теплового ядра, формування буферних зон по периферії будівлі, а також застосування *модульних і трансформованих планувальних структур* для забезпечення адаптивності будівлі без втрати енергоефективних характеристик;

- *об'ємно-просторові прийоми* інтеграції нової забудови в історично сформоване середовище повинні базуватися на принципах контекстуальної узгодженості, збереження морфологічної структури та підтримання композиційної цілісності історичної забудови. Запропоновано основні прийоми реалізації параметричного алгоритму, серед яких: *заповнення фронту забудови, формування окремих об'ємів, надбудова, розвиток внутрішньоквартального простору, реконструктивні рішення та морфологічна адаптація нових об'єктів.*

9. В результаті дослідження доведено, що розроблений алгоритм параметричного моделювання та його *інструментально-цифрова реалізація* є найбільш ефективною при застосуванні *генеративних і параметричних методів* проектування, які забезпечують багатоваріантний пошук та оцінку архітектурних рішень за критеріями енергоефективності, контекстуальної відповідності й просторової узгодженості, формуючи адаптивну модель інтеграції нової забудови в історично сформоване міське середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. PES-Architects. Fuzhou Strait Culture and Art Centre // Archello. URL: <https://archello.com/project/fuzhou-strait-culture-and-art-centre> (дата звернення: 17.05.2026).
2. 3ENCULT (Efficient ENergy for EU Cultural Heritage). Final Report Summary. European Commission, Seventh Framework Programme, 2014. URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/260162/reporting> (дата звернення: 11.05.2026).
3. 3ENCULT (Efficient Energy for EU Cultural Heritage). Project information. European Union Seventh Framework Programme, 2014. URL: <http://www.3encult.eu/en/project/Info.html> (дата звернення: 11.05.2026).
4. Acosta I., Roldán A., Campano Laborda M., Bustamante P. Daylight Spectrum Index: Measuring the Daylighting Affinity of Electric Lights. CIE 2023 Conference. 2023. P. 964–978. DOI: 10.25039/x50.2023.PO178.
5. Agrasar-Santiso K., Millan-Garcia J. A., Otaduy-Zubizarreta J. P., Baïri A., Martín-Garín A. Analyzing non-destructive methods for building inspection and energy performance: A focus on photogrammetry and infrared thermography. *Diagnosis of Heritage Buildings by Non-Destructive Techniques* / ed. by B. Tejedor Herrán, D. Bienvenido-Huertas. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. Cambridge. Woodhead Publishing, 2024. P. 133–158. DOI: 10.1016/B978-0-443-16001-1.00006-1.
6. Al-awag E., Abd Wahab I. Perspectives in double-skin façade (DSF) advantages and disadvantages. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1022. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/1022/1/012003.
7. Al-Ruzouq R., Abu Dabous S., Junaid M. T., Hosny F. Nondestructive deformation measurements and crack assessment of concrete structure using close-range photogrammetry. *Results in Engineering*. 2023. Vol. 18. 101058. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101058.
8. Alexakis K., Benekis V., Kokkinakos P., Askounis D. Genetic algorithm-based multi-objective optimisation for energy-efficient building retrofitting: A

- systematic review. *Energy and Buildings*. 2025. Vol. 328. 115216. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.115216.
9. Alshawabkeh Y., El-Khalili M., Almasri E., Bala'awi F., Al-Massarweh A. Heritage documentation using laser scanner and photogrammetry. The case study of Qasr Al-Abidit, Jordan. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2020. Vol. 16. e00133. DOI: 10.1016/j.daach.2019.e00133.
 10. Ardente F., Beccali M., Cellura M., Mistretta M. Energy and Environmental Benefits in Public Buildings as a Result of Retrofit Actions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15. P. 460–470. DOI: 10.1016/j.rser.2010.09.022.
 11. Balest J., Lucchi E., Haas F., Grazia G., Exner D. Materiality, meanings, and competences for historic rural buildings: a social practice approach for engaging local communities in energy transition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 863. 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/863/1/012021.
 12. Balest J., Secco L., Pisani E., Garegnani G. Municipal transitions: The social, energy, and spatial dynamics of sociotechnical change in South Tyrol, Italy. *Energy Research & Social Science*. 2019. Vol. 54. P. 211–223. DOI: 10.1016/j.erss.2019.04.015.
 13. Balló Z. Energetic retrofit of historical downtown buildings: Cost effectiveness and financing options. *International Journal of Energy Production and Management*. 2019. Vol. 4. No. 4. P. 320–331. DOI: 10.2495/EQ-V4-N4-320-331.
 14. BIPV meets history. Eurac Research [Електронний ресурс]. URL: <https://www.eurac.edu/en/institutes-centers/institute-for-renewable-energy/projects/bipv-meets-history> (дата звернення: 17.05.2026).
 15. Bloomberg European Headquarters // Foster + Partners : офіційний сайт. URL: <https://www.fosterandpartners.com/projects/bloomberg> (дата звернення: 17.05.2026).

16. Bottino-Leone D., Balest J., Cittati V. M., Pezzutto S., Fraboni R., Beltrami F. Review of Existing Tools for the Assessment of European Building Stock Energy Demand for Space Heating and Cooling. *Sustainability*. 2024. Vol. 16 (6). 2462. DOI: 10.3390/su16062462.
17. Bottino-Leone D., Larcher M., Herrera-Avellanosa D., Haas F., Troi A. Evaluation of natural-based internal insulation systems in historic buildings through a holistic approach. *Energy*. 2019. Vol. 181. P. 521–531. DOI: 10.1016/j.energy.2019.05.139.
18. Brighton & Hove City Council. It's a classic! Jubilee Library marks 20 years since opening [Электронный ресурс]. 2025. URL: <https://www.brighton-hove.gov.uk/news/2025/its-classic-jubilee-library-marks-20-years-opening> (дата звернення: 17.05.2026).
19. Buda A., de Place Hansen E. J., Rieser A., Giancola E., Pracchi V. N., Mauri S., Marincioni V., Gori V., Fouseki K., Polo López C. S., Lo Faro A., Egusquiza A., Haas F., Leonardi E., Herrera-Avellanosa D. Conservation-Compatible Retrofit Solutions in Historic Buildings: An Integrated Approach // *Sustainability*. — 2021. — Vol. 13, No. 5. — P. 2927. — DOI: 10.3390/su13052927.
20. Calay R. K., Wang W. C. A hybrid energy efficient building ventilation system. *Applied Thermal Engineering*. 2013. Vol. 57 (1–2). P. 7–13. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2013.03.042.
21. CEN ISO/TR 52003-2:2017. Energy performance of buildings — Indicators, requirements, ratings and certificates — Part 2: Explanation and justification of ISO 52003-1. CEN, 2017. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/290caa6d-78b2-41e9-b835-d45e13e5b0b6/cen-iso-tr-52003-2-2017> (дата звернення: 17.05.2026).
22. Chang M.-C., Shih S.-G. A Hybrid Approach of Dynamic Programming and Genetic Algorithm for Multi-criteria Optimization on Sustainable Architecture Design. *Computer-Aided Design and Applications*. 2015. Vol. 12 (3). P. 310–319. DOI: 10.1080/16864360.2014.981460.

23. Cohen S., Goldman C., Harris J. Energy Savings and Economics of Retrofitting Single-Family Buildings. *Energy and Buildings*. 1991. Vol. 17. P. 297–311. DOI: 10.1016/0378-7788(91)90012-R.
24. Conservation compatible energy retrofit technologies. Part II: Documentation and assessment of conventional and innovative solutions for conservation and thermal enhancement of window systems in historic buildings. IEA SHC Task 59 | EBC Annex 76 Renovating Historic Buildings Towards Zero Energy [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/D.C1--Part-II-Windows.pdf> (дата звернення: 17.05.2026).
25. Cruz A. S., Caldas L. R., Mendes V. M., Mendes J. C., Bastos L. E. G. Multi-objective optimization based on surrogate models for sustainable building design: A systematic literature review // *Building and Environment*. — 2024. — Vol. 266. — P. 112147. — DOI: 10.1016/j.buildenv.2024.112147.
26. Dang M., van den Dobbelsteen A., Voskuilen P. A Parametric Modelling Approach for Energy Retrofitting Heritage Buildings: The Case of Amsterdam City Centre. *Energies*. 2024. Vol. 17 (5). 994. DOI: 10.3390/en17050994.
27. Danielski I., Krook M., Veimer K. Atrium in Residential Buildings—A Design to Enhance Social Interaction in Urban Areas in Nordic Climates. *Sustainable Buildings in Cold Climates*. 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-00662-4_65.
28. Deb K., Beyer H.-G. Self-Adaptive Genetic Algorithms with Simulated Binary Crossover. *Evolutionary Computation*. 2001. Vol. 9, No. 2. P. 197–221. DOI: 10.1162/106365601750190406.
29. Del Hierro López I., Olivieri L. Comprehensive review of building-integrated photovoltaics in the renovation of heritage buildings. *Journal of Building Engineering*. 2025. Vol. 108. 112883. DOI: 10.1016/j.jobe.2025.112883.
30. Di Rocco A. R., Bottino-Leone D., Troi A., Herrera-Avellanosa D. Application of the Guidelines for the Integration of Photovoltaics in Historic Buildings and Landscapes to Evaluate the Best Practices of the Historic Building Energy Retrofit Atlas. *Buildings*. 2024. Vol. 14 (2). 499. DOI: 10.3390/buildings14020499.

31. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union. 2024. OJ L, 2024/1275, 08.05.2024. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj/eng> (date of access: 11.05.2026).
32. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Union. 2010. L 153. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj> (дата звернення: 11.05.2026).
33. Directive 2018/844/EU of the European Parliament and of the Council amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency. Official Journal of the European Union. 2018. L 156. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj> (дата звернення: 11.05.2026).
34. Divolis S., Spiliotis E., Marinakis V., Stoimenidis A. A Holistic Framework for Evaluating Energy Performance and Indoor Environmental Quality in Cultural Heritage Buildings. 2024. P. 1–8. DOI: 10.1109/IIISA62523.2024.10786659.
35. DiXi Group. На шляху до будівель з нульовими викидами: оновлені правила енергоефективності в ЄС [Електронний ресурс]. URL: <https://dixigroup.org/comment/na-shlyahu-do-budivel-z-nulovymy-vykydamy-onovleni-pravy-la-energoefektyvnosti-v-yes/> (дата звернення: 17.05.2026).
36. Domènech A., Doménech-Carbó M., Costa V. Application of Instrumental Methods in the Analysis of Historic, Artistic and Archaeological Objects. 2025 DOI: 10.1007/978-3-540-92868-3_1.
37. Drobek K. Historical ruin of a medieval castle – proposal of methodology for comprehensive monument analysis. Architectus. 2024. № 2. P. 54–63. DOI: 10.37190/arc240206.
38. EFFESUS (Energy Efficiency for EU Historic Districts' Sustainability). Final Report Summary. European Commission, Seventh Framework Programme, 2016. URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/314678/reporting> (дата звернення: 11.05.2026).

39. Egusquiza A., Broström T., Pagliula S., Hermann C., Rodwell D. Strategic assessment of historic cities for energy efficiency retrofits to enable their long-term use and conservation: Development of the EFFESUS methodology and software tool. 2016
40. Ellis P. Analysis of Mortars (to include historic mortars) by Differential Thermal Analysis. 2020. URL: <https://roseofjericho.co.uk/article/analysis-of-mortars-to-include-historic-mortars-by-differential-thermal-analysis/> (дата звернення: 17.05.2026).
41. EN 13779:2007 Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems. British Standards Institution, 2007.
42. EN 15758:2010. Conservation of Cultural Property — Procedures and instruments for measuring temperatures of the air and the surfaces of objects. CEN, 2010. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/8e796a23-395f-4ed2-8154-33ef479b3231/en-15758-2010> (дата звернення: 17.05.2026).
43. EN 16242:2012. Conservation of cultural heritage — Procedures and instruments for measuring humidity in the air and moisture exchanges between air and cultural property. CEN, 2012. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/12d5d8fb-f047-4d49-a750-9349dff5f7f4/en-16242-2012> (дата звернення: 17.05.2026).
44. EN 16798-1:2019. Energy performance of buildings — Ventilation for buildings — Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics — Module M1-6. CEN, 2019. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/b4f68755-2204-4796-854a-56643dfcfe89/en-16798-1-2019> (дата звернення: 17.05.2026).
45. Energy Efficiency and Historic Buildings: Secondary Glazing for Windows. Historic England. 2012. 10 p. URL: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/eehb-secondary-glazing-windows/heag085-secondary-glazing/> (дата звернення: 17.05.2026).

46. EnergyPlus. Whole building energy simulation program. U.S. Department of Energy. URL: <https://energyplus.net/> (дата звернення: 17.05.2026).
47. Engineering Heartspace. Bond Bryan Architects. URL: <https://bondbryan.co.uk/project/engineering-heartspace/> (дата звернення: 11.05.2026).
48. Eriksson P., Hermann C., Hrabovszky-Horváth S., Rodwell D. EFFESUS Methodology for Assessing the Impacts of Energy-Related Retrofit Measures on Heritage Significance. *The Historic Environment: Policy & Practice*. 2014. Vol. 5 (2). P. 132–149. DOI: 10.1179/1756750514Z.00000000054.
49. Exner D., Haas F., Troi A., Franzen C. A tool for multidisciplinary development of energy efficiency solutions for historic buildings: the Raumbuch concept extended to energy aspects // *Proceedings of the 4th International Congress on “Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin”*. — Cairo, 2012.
50. Formolli M. Optimization of solar energy use with a dynamic integrated photovoltaic shading device : master thesis. Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture and Technology. 2020. URL: <https://hdl.handle.net/11250/2670203> (дата звернення: 17.05.2026).
51. Freitas J. de S., Cronemberger J., Soares R. M., Amorim C. N. D. Modeling and assessing BIPV envelopes using parametric Rhinoceros plugins Grasshopper and Ladybug. *Renewable Energy*. 2020. Vol. 160. P. 1468–1479. DOI: 10.1016/j.renene.2020.05.137.
52. Gliarelli E., Calcerano F., D’Uffizi F., Di Biccari C., Mangialardi G., Campari M. From Heritage BIM to BPS, a computational design-based interoperability approach // *Proceedings of Building Simulation 2019: 16th Conference of IBPSA*. — Rome, 2020. — P. 129–136. — DOI: 10.26868/25222708.2019.210442.
53. Goullis G., Kovacic I. A study on building performance analysis for energy retrofit of existing industrial facilities. *Applied Energy*. 2016. Vol. 184. P. 1389–1399. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.03.104.

54. Haas F., Exner D., Franzen C., Frey W. 3ENCULT Monument Information System – The “Raumbuch”-principle extended to Energy Issues. 2013. DOI: 10.1109/DigitalHeritage.2013.6743847
55. Healey P. Transforming governance: Challenges of institutional adaptation and a new politics of space. *European Planning Studies*. 2006. Vol. 14 (3). P. 299–320. DOI: 10.1080/09654310500420792.
56. Henning Larsen Architects. Siemens Headquarters, Munich. URL: <https://henninglarsen.com/en/projects/siemens-headquarters> (дата звернення: 17.05.2026).
57. Heritage in war: a key to define the future of Ukraine. *Review of Democracy*. 2023. URL: <https://revdem.ceu.edu/2023/03/28/heritage-in-war-a-key-to-define-the-future-of-ukraine> (дата звернення: 11.05.2026).
58. Hirschmüller H. Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2008. Vol. 30 (2). P. 328–341. DOI: 10.1109/TPAMI.2007.1166.
59. Hirt S. Toward Postmodern Urbanism?: Evolution of Planning in Cleveland, Ohio. *Journal of Planning Education and Research*. 2005. Vol. 25. P. 27–42. DOI: 10.1177/0739456X04270465.
60. <https://www.99acorns.com/retrofitting-historic-buildings-for-modern-use/>
Retrofitting Historic Buildings for Modern Use. 99acorns [Електронний ресурс]. URL: <https://www.99acorns.com/retrofitting-historic-buildings-for-modern-use/> (дата звернення: 17.05.2026).
61. Hu J., Wang Z., Chen W. A Study on Automatic Form Optimization Procedures of Building Performance Design Based on “Ladybug+Honeybee”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 531. 012020. DOI: 10.1088/1755-1315/531/1/012020
62. ICOMOS Statement on Heritage Protection in Ukraine. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), 2022. URL: <https://www.icomos.org/news/icomos-statement-ukraine> (дата звернення: 11.05.2026).

63. ICOMOS/ISCARSAH. Recommendations for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage (ISCARSAH), 2003.
64. Idak Yu., Lysenko O. Preservation of urban form: A critical analysis of modern development strategies and the importance of compositional integrity. *Architectural Studies*. 2024. Vol. 10 (1). P. 92–103. DOI: 10.56318/as/1.2024.92.
65. International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme. Task 59: Deep Renovation of Historic Buildings Towards Lowest Possible Energy Demand and CO₂ Emission (NZEB). URL: <https://task59.iea-shc.org/> (дата звернення: 17.05.2026).
66. ISO 52016-1:2017. Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 1: Calculation procedures. ISO, 2017. URL: <https://www.iso.org/standard/65696.html> (дата звернення: 17.05.2026).
67. ISO/TR 52016-2:2017. Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 2: Explanation and justification of ISO 52016-1 and ISO 52017-1. Geneva: International Organization for Standardization, 2017. URL: <https://www.iso.org/standard/65697.html> (дата звернення: 17.05.2026).
68. ISSN Record 2543-6422 : Ochrona Dziedzictwa Kulturowego. ISSN Portal. URL: <https://portal.issn.org/resource/ISSN/2543-6422> (дата звернення: 11.05.2026).
69. Italy's Long-Term Renovation Strategy. European Commission, 2020. URL: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2021-12/2020_ltrs_italy_-_en.pdf (дата звернення: 11.05.2026).
70. Izbash A., Fomenko O., Danylov S. Innovative tools for implementing the smart city concept in architectural urbanism. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2490. 030009. DOI: 10.1063/5.0123449.

71. Jubilee Library, Brighton. Architects' Journal [Электронный ресурс]. URL: <https://www.architectsjournal.co.uk/archive/jubilee-library-brighton> (дата звернення: 17.05.2026).
72. Jubilee Library, Brighton. The Concrete Centre [Электронный ресурс]. URL: <https://concretecentre.com/Case-Studies/Jubilee-Library,-Brighton.aspx> (дата звернення: 17.05.2026).
73. Kamari A., Kotula B. M., Schultz C. P. L. A BIM-based LCA tool for sustainable building design during the early design stage. *Smart and Sustainable Built Environment*. 2022. Vol. 11. Issue 2. P. 217–244. DOI: 10.1108/SASBE-09-2021-0157.
74. Kashchenko T., Danko K. Features of housing sanation in the historical architectural environment. *TEKA Komisji Architektury, Urbanistyki i Studiów Krajobrazowych*. 2018. Vol. 14. № 1. P. 63–70. DOI: 10.35784/teka.1741
75. Kookalani S., Pärn E., Brilakis I., Dirar S., Theofanous M., Faramarzi A., Mahdavi-pour M. A., Feng Q. Trajectory of building and structural design automation from generative design towards the integration of deep generative models and optimization: A review. *Journal of Building Engineering*. 2024. Vol. 97. 110972. DOI: 10.1016/j.jobe.2024.110972.
76. Koç S. G., Kalfa S. Maçka. The effects of atrium on energy performances of office buildings according to Turkish climate regions. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*. 2019. Vol. 2 (3). P. 144–156. DOI: 10.31462/jcemi.2019.03144156.
77. Larsen P. K., Broström T. *Climate Control in Historic Buildings*. Uppsala Universitet, National Museum of Denmark, 2015. P. 1–73. URL: http://eprints.sparaochbevara.se/862/1/Climate_control_in_historic_buildings.pdf (дата звернення: 11.05.2026).
78. Leijonhufvud G., Broström T., Buda A., Herrera D., Haas F., Troi A., Exner D., Mauri S., Hansen E. J., Marincioni V., Vernimme N. Planning energy retrofits of historic buildings. *EN16883:2017 in practice. Task IEA 59*. 2021. P. 1–54. DOI: 10.18777/ieashc-task59-2021-0003.

79. Leshchenko N. New Buildings in the Historical Urban Environment // Architectural Studies. — 2018. — Vol. 4, No. 1. — P. 45–52.
80. Leshchenko N. New construction and reconstruction of the historic architectural environment in a view of zones of protection the monuments of architecture and town planning. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2016. Vol. 18. № 10. P. 33–43.
81. Liu C., Sharples S., Mohammadpourkarbasi H. A Review of Building Energy Retrofit Measures, Passive Design Strategies and Building Regulation for the Low Carbon Development of Existing Dwellings in the Hot Summer–Cold Winter Region of China. *Energies*. 2023. Vol. 16 (10). 4115. DOI: 10.3390/en16104115.
82. Lucchi E., Garegnani G., Maturi L., Moser D. Architectural integration of photovoltaic systems in historic districts. The case study of Santiago de Compostela. Congreso Internacional de Eficiencia Energética y Edificación Histórica / International Conference on Energy Efficiency and Historic Buildings. Madrid, Spain, 29–30 September 2014. URL: <https://www.eurac.edu/en/institutes-centers/institute-for-renewable-energy> (дата звернення: 11.05.2026).
83. López-Escamilla Á., Herrera-Limones R., León-Rodríguez Á. L. Double-Skin Facades for Thermal Comfort and Energy Efficiency in Mediterranean Climate Buildings: Rehabilitating Vulnerable Neighbourhoods. *Buildings*. 2024. Vol. 14 (2). 326. DOI: 10.3390/buildings14020326.
84. Ma Z., Cooper P., Daly D., Ledo L. Existing Building Retrofits: Methodology and State-of-the-Art. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 55. P. 889–902. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.08.018.
85. Montalbán Pozas B., Neila González F. J. Housing building typology definition in a historical area based on a case study: The Valley, Spain. *Cities*. 2018. Vol. 72. Part A. P. 1–7. DOI: 10.1016/j.cities.2017.07.020.
86. Naddaf M. S., Baper S. Y. The role of double-skin facade configurations in optimizing building energy performance in Erbil city. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. 8394. DOI: 10.1038/s41598-023-35555-0.

87. Namchuk D. V., Dovbenko V. S. Regulatory and Legal Conceptualization of Energy Efficiency of Buildings. *Modern Construction and Architecture*. 2026. No. 15. P. 87–96. DOI: 10.31650/2786-6696-2026-15-87-96.
88. New European Bauhaus. European Union [Електронний ресурс]. URL: https://new-european-bauhaus.europa.eu/index_en (дата звернення: 17.05.2026).
89. Nyseth T., Sognnæs J. Preservation of old towns in Norway: Heritage discourses, community processes and the new cultural economy. *Cities*. 2013. Vol. 31. P. 69–75. DOI: 10.1016/j.cities.2012.05.014.
90. PES-Architects. Fuzhou Strait Culture and Art Centre // Archello. URL: <https://archello.com/project/fuzhou-strait-culture-and-art-centre> (дата звернення: 17.05.2026).
91. Pleshkanovska A., Biriuk S. Outdated Housing Stock as an Object of Complex Reconstruction Programs and Projects (on the Example of the City of Kyiv). *Urban Development and Spatial Planning*. 2022. P. 323–341. DOI: 10.32347/2076-815x.2022.79.323-341.
92. PLP Architecture. The Edge, Amsterdam [Електронний ресурс]. URL: <https://www.plparchitecture.com/projects/the-edge> (дата звернення: 17.05.2026).
93. Pohranychna I., Yasynskyi M. Methodological aspects of the scientific and design process of preserving the historical city // *Architectural Studies*. — 2021. — Vol. 7, No. 2. — P. 216–226. — DOI: 10.23939/as2021.02.216.
94. Pulselli R. M., Simoncini E., Marchettini N. Energy and emergy based cost–benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate. *Building and Environment*. 2009. Vol. 44. Issue 5. P. 920–928. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.06.009.
95. Ramadan L. A., Mokadem A. El, Badawy N. Multi-objective optimization framework based on review of form-finding of architectural parametric forms. *International Journal of Architectural Computing*. 2024. Vol. 24. Issue 1. DOI: 10.1177/14780771241299595.

96. Rizzo A., Örn T., Luciani A. Energy-efficiency measures for heritage buildings: A literature review. *Sustainable Cities and Society*. 2019. Vol. 45. P. 231–242. DOI: 10.1016/j.scs.2018.09.029.
97. Roberti F., Exner D., Troi A. Energy Consumption and Indoor Comfort in Historic Refurbished and Non-refurbished Buildings in South Tyrol: An Open Database. *Sustainable Built Heritage*. Cham : Springer, 2017. P. 49–63. DOI: 10.1007/978-3-319-75774-2_4.
98. Romero J. Architectural survey of historical buildings: The orders of classical architecture in the Baptistery of Florence. *Frontiers of Architectural Research*. 2021. Vol. 10. Issue 1. P. 117–133. DOI: 10.1016/j.foar.2020.07.002.
99. Sadaghat B., Afzal S., Khiavi A. J. Residential building energy consumption estimation: A novel ensemble and hybrid machine learning approach. *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 251. 123934. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.123934.
100. Saisi A., Borlenghi P., Gentile C. Between Safety and Conservation—Procedure for the Assessment of Heritage Buildings Based on Historic Research. *Buildings*. 2023. Vol. 13 (9). 2236. DOI: 10.3390/buildings13092236.
101. Seraj H., Abbaspour A., Bahadori-Jahromi A. Towards a hybrid retrofit planning framework: a data-driven tool for energy retrofit in residential buildings. *Energy and Built Environment*. 2025. ISSN 2666-1233. DOI: 10.1016/j.enbenv.2025.05.013.
102. Shuldan L. Improving the energy efficiency of architectural solutions in context of climate change scenarios. *Architectural Studies*. Lviv : Lviv Polytechnic Publishing House, 2021. Vol. 7, No. 1. P. 87–95.
103. Shuldan L. Key Principles of Solar Photovoltaics Integration in the Buildings of Architectural Heritage. *Current Issues in Research, Conservation and Restoration of Historic Fortifications*. 2021. DOI: 10.23939/FORTIFICATIONS2020.14.006.
104. Shuldan L., Shtendera A. Simulation Modelling Development in Design of Energy Efficiency Improvement of Architectural Solutions. *Architectural Studies*. 2020. Vol. 6. No. 2. DOI: 10.23939/as2020.02.258.

105. Shuldan L. Improving the energy efficiency of architectural solutions in context of climate change scenarios. *Architectural Studies*. 2021. Vol. 7, No. 1. P. 87–95. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/57865> (дата звернення: 18.05.2026).
106. SIST EN ISO 52000-1:2018. Energy performance of buildings — Overarching EPB assessment — Part 1: General framework and procedures (ISO 52000-1:2017). SIST, 2018. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/03aaeb28-03db-408d-811b-673c10151095/sist-en-iso-52000-1-2018> (дата звернення: 17.05.2026).
107. Sweetser S. M. Roofing for Historic Buildings. *Preservation Briefs 4*. U.S. Department of the Interior, National Park Service, Heritage Preservation Services. URL: <https://www.nps.gov/orgs/1739/upload/preservation-brief-04-roofing.pdf> (дата звернення: 17.05.2026).
108. Szmygin B. (coord.) et al. Transnational Model of Sustainable Protection and Conservation of Historic Ruins: Best Practices Handbook. Lublin : Interreg Central Europe RUINS Project, 2020. URL: <https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/Sustainable-protection-of-historic-ruins-4.pdf> (дата звернення: 11.05.2026).
109. Szmygin B. Application of experience gleaned from the WHL system in national heritage protection systems – opportunities and benefits. *Protection of Cultural Heritage*. 2023. Vol. 1 (17). P. 129–136. DOI: 10.35784/odk.5837.
110. Szmygin B., Skoczylas O. Factors shaping the Venice Charter and its usefulness – on the example of heritage protection in Poland. *Teka Komisji Architektury, Urbanistyki i Studiów Krajobrazowych*. 2021. Vol. 17. P. 84–90. DOI: 10.35784/teka.2861.
111. Tejedor B., Lucchi E., Bienvenido-Huertas D., Nardi I. Non-destructive techniques (NDT) for the diagnosis of heritage buildings: Traditional procedures and futures perspectives. *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 263. 112029. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112029.
112. The Crystal. WilkinsonEyre Architects. URL: wilkinsoneyre.com (дата звернення: 11.05.2026).

113. The New Charter of Athens 2003: The European Council of Town Planners' Vision for Cities in the 21st Century. Firenze: Alinea Editrice, 2003. DOI: 10.29202/NVNGU/20193/8
114. Touloupaki E., Theodosiou T. Optimization of Building form to Minimize Energy Consumption through Parametric Modelling. *Procedia Environmental Sciences*. 2017. Vol. 38. P. 509–514. DOI: 10.1016/j.proenv.2017.03.114.
115. Troi A. Historic buildings and city centres – the potential impact of conservation compatible energy refurbishment on climate protection and living conditions. *Proceedings of the International Conference Energy Management in Cultural Heritage*. Dubrovnik, 2011.
116. Troi A., Bastian Z., Colla C., Torben D., Esposito E., Franzen C., Garrecht H., Haas F., Hernandez J., Paci G., Pfluger R., Plagge R., Pohl W., Wedebrunn O., Bishara A., Faustini M., Bangert A., Janetti M., Weitlaner R. Energy efficiency solutions for historic buildings. A handbook. Basel: Birkhäuser, 2014. 335 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.2558.9206.
117. Vafaie F., Remøy H., Gruis V. Adaptive reuse of heritage buildings; a systematic literature review of success factors. *Habitat International*. 2023. DOI: 10.1016/j.habitatint.2023.102926
118. Valença J., Puente I., Júlio E., González-Jorge H., Arias-Sánchez P. Assessment of cracks on concrete bridges using image processing supported by laser scanning survey. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 146. P. 668–678. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.096.
119. Wang X., Teigland R., Hollberg A. Identifying influential architectural design variables for early-stage building sustainability optimization. *Building and Environment*. 2024. Vol. 252. 111295. DOI: 10.1016/j.buildenv.2024.111295.
120. Wenzel K., Abdel-Wahab M., Cefalu A., Fritsch D. High-resolution surface reconstruction from imagery for close range cultural heritage applications. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2012. Vol. XXXIX-B5. P. 133–138. DOI: 10.5194/isprsarchives-XXXIX-B5-133-2012.

121. Wondolowski M., Hain A., Motaref S. Experimental evaluation of 3D imaging technologies for structural assessment of masonry retaining walls. *Results in Engineering*. 2024. Vol. 21. 101901. DOI: 10.1016/j.rineng.2024.101901.
122. Zero energy buildings for zero energy neighbourhoods (ZEB4ZEN). KEEP.eu. URL: <https://keep.eu/projects/27765/Zero-energy-buildings-for-z-EN/> (дата звернення: 11.05.2026).
123. Ziozas N., Kitsopoulou A., Bellos E., Iliadis P., Gonidaki D., Angelakoglou K., Nikolopoulos N., Ricciuti S., Viesi D. Energy Performance Analysis of the Renovation Process in an Italian Cultural Heritage Building. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. 2784. DOI: 10.3390/su16072784.
124. Zymina S., Mezhenha N. Predictive component of the architectural stylistic formation depending on the realities of society. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2490 (1). 020006. DOI: 10.1063/5.0124546.
125. Šekularac N., Ivanovic-Sekularac J., Petrovski A., Macut N., Radojevic M. Restoration of a Historic Building in Order to Improve Energy Efficiency and Energy Saving—Case Study—The Dining Room within the Žiča Monastery Property. *Sustainability*. 2020. DOI: 10.3390/su12156271.
126. Šekularac N., Šumarac D. M., Čikić-Tovarović J. L., Čokić M. M., Ivanović-Šekularac J. A. Re-use of Historic Buildings and Energy Refurbishment Analysis via Building Performance Simulation: A Case Study. *Thermal Science*. 2018. Vol. 22, Issue 6, Part A. P. 2335–2354. DOI: 10.2298/TSCI171124089S.
127. Бахтін Д. С. Принципи формування об'ємно-просторової організації енергоефективних громадських будівель : дис. ... д-ра філософії : 191 / Д. С. Бахтін. — Одеса, 2023. — 250 с.
128. Бевз М. В. Методологічні основи збереження та регенерації заповідних архітектурних комплексів історичних міст (на прикладі Західної України) : автореф. дис. ... д-ра архітектури : 18.00.01. Харків, 2004. 32 с.
129. Брідня Л. Ю. Методичні основи реконструкції типових готелів в Україні : дис. ... канд. архітектури : 18.00.02 / Л. Ю. Брідня ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. — Київ, 2014. — 200 с.

130. Будівництво житла в межах історичного ареалу: врахування особливостей. ZV Legal. URL: <https://zvlegal.com/ua/press-center/budivnictvo-zhitla-v-mezhah-istorichnogo-arealu-vrahuvannya-osoblivostej> (дата звернення: 11.05.2026).
131. Буравченко В. С. Геометричні методи регулювання інсоляційного режиму житлових будинків : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Київський національний університет будівництва і архітектури. — Київ, 2008. — 180 с.
132. Буравченко С. Г. Аналіз підвищення енергоефективності на основі розрахункових досліджень моделей малоповерхових будинків. Енергоефективність в будівництві та архітектурі. 2013. Вип. 4. С. 31–35. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILA=&S21STR=enef_2013_4_7 (дата звернення: 11.05.2026).
133. Гайко Ю. І., Гнатченко Є. Ю., Завальний О. В., Шишкін Е. А. Реновація промислової забудови та її адаптація до сучасного міського середовища : монографія / за заг. ред. Ю. І. Гайка, Е. А. Шишкіна. Харків. ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 353 с.
134. Данько К. С. Методичні основи архітектурно-планувальної організації енергоефективних багатоквартирних житлових будинків : дис. ... канд. архітектури : 18.00.02 / Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ, 2019.
135. ДБН В.1.2-11:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022.
136. ДБН В.2.2-9:2018 Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення. Зі Зміною № 1 [Електронний ресурс]. Чинний від 01.09.2022. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 49 с. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3883980506374604305?doc_type=2 (дата звернення: 19.04.2024).

137. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3873910458809321241 (дата звернення: 17.05.2026).
138. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022.
139. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ: Мінрегіон України, 2021. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3876000386489779420 (дата звернення: 17.05.2026).
140. Дмитроченкова Е. І. Аналіз міжнародних систем сертифікації «зеленого» будівництва. Екологічні науки. 2018. № 1 (20). Т. 1. С. 140–143.
141. ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Київ, 1999.
142. ДСТУ EN 13187:2001 Теплова характеристика будівель. Якісне виявлення теплових аномалій в огорожувальних конструкціях. Інфрачервоний метод. Київ, 2001.
143. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель. Чинний від 01.01.2017. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
144. Дьомін М., Габрель М., Косьмій М., Габрель Т. Теоретико-методичні основи ревіталізації та просторового розвитку поствоєнної України: нематеріальний контекст. Просторовий розвиток. 2024. № 10. С. 3–29. DOI: 10.32347/2786-7269.2024.10.3-29.
145. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» № 2118-VIII від 22.06.2017 р. Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> (дата звернення: 17.05.2026).
146. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» № 2697-VIII від 28.02.2019 р. Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 17.05.2026).

147. Кабінет Міністрів України. Через російську агресію в Україні постраждали 902 пам'ятки культурної спадщини. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/cherez-rosiisku-ahresiiu-v-ukraini-postrazhdaly-902-pamiatky-kulturnoi-spadshchynu> (дата звернення: 11.05.2026).
148. Кащенко Т. О. Передумови формування архітектурного енергоефективного середовища. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ : КНУБА, 2008. Вип. 19. С. 132–136. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Spam_2008_19_22.pdf (дата звернення: 17.05.2026).
149. Кащенко Т. О. Підвищення енергоефективності житлових будинків на основі оптимізації форми : дис. ... канд. архітектури : 18.00.02. Київ, 2001. 199 с.
150. Кащенко Т. О. Структура наукового простору проблеми енергоефективного архітектурного середовища. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ : КНУБА, 2009. Вип. 21. С. 339–346. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a1d699c5-a754-43ec-aff4-e0175d84cad0/content> (дата звернення: 17.05.2026).
151. Кащенко Т. О., Колісник Р. М. Методики дослідження стану енергоефективності історичної забудови. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ. КНУБА, 2023. Вип. 65. С. 282–290. DOI: 10.32347/2077-3455.2023.65.282-290.
152. Кащенко Т. О., Кордияка Р. М. Досвід реновації промислових будівель в історичній забудові. Сучасна архітектурна освіта. Відбудова та розвиток в європейському контексті: матеріали XV Всеукраїнської наукової конференції, 23 листопада 2023 р. Київ. КНУБА, 2025. С. 61-63.
153. Кащенко Т., Кордияка Р. Сучасні вимоги до енергоефективної реновації історичних будівель. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ. КНУБА, 2024. Вип. 68. С. 260–267. DOI: 10.32347/2077-3455.2024.68.260-267

154. Коротун І. В. Архітектурно-містобудівні основи створення буферних зон об'єктів Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО : автореф. дис. ... д-ра архітектури : 18.00.01 / І. В. Коротун ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. — Київ, 2017. — 36 с.
155. Коротун І. В. Архітектурні принципи формування території буферних зон об'єктів Всесвітньої культурної спадщини ЮНЕСКО. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ : КНУБА, 2017. Вип. 62. С. 332–336.
156. Коротун І. В. Принципи архітектурно-планувальної організації ансамблевої забудови : дис. канд. архітектури : 18.00.02 Архітектура будівель і споруд.
157. Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень: курс лекцій. Тернопіль. Економічна думка, 2005. 124 с.
158. Куцевич В. В. Архітектурна типологія громадських будинків і споруд. Сучасні тенденції розвитку. Сучасні проблеми архітектури і містобудування. Київ : КНУБА, 2014. Вип. 35. С. 376–384.
159. Левченко О. В. Методичні основи оптимізації функціонально-територіальної структури сільськогосподарського адміністративного району : дис. канд. архітектури : 18.00.01 Архітектурне середовище. Київ. Київський національний університет будівництва і архітектури, 2008. 210 с.
160. Левченко О. В., Михайленко А. В., Череватий А. З. ВІМ як інструмент відновлення України. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ. КНУБА, 2025. Вип. 72. С. 82–102. DOI: 10.32347/2077-3455.2025.72.82-102.
161. Лещенко Н. А. Методологічні основи реставраційно-реконструктивних трансформацій історичних центрів малих міст : дис. ... д-ра наук : 18.00.01 / Н. А. Лещенко. — Київ, 2020. — 487 с.
162. Люлевич А. А. Оцінка концентрацій діоксину вуглецю в середині приміщень : магістерська дис. : 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка. Київ, 2018. 83 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/44e836f7-ba73-4993-bd5d-d6a0c6f76c7f/content> (дата звернення: 11.05.2026).

163. Мартинов В. Л. Моделювання надходження сонячної радіації на гранні поверхні архітектурних об'єктів : дис. ... канд. архітектури : 18.00.02 / В. Л. Мартинов. — Київ, 1993. — 180 с.
164. Мартинов В. Л. Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми : дис. ... д-ра архітектури : 18.00.02. Київ, 2015. 394 с.
165. Мартинов В., Чирва Т. Оптимізація орієнтації енергоефективних будівель, що обертаються. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Київ. КНУБА, 2022. № 103. С. 123–133. DOI: 10.32347/0131-579X.2022.103.123-133
166. Моргул В. В. Архітектурно-планувальні принципи формування енергоефективних житлових будинків : дис. ... канд. архітектури : 18.00.02 / В. В. Моргул. Харків, 2013. 210 с.
167. Олійник О. Україна сьогодні: масштаби руйнувань, історія відбудови та можливості для розвитку. Демократична відбудова України / Данська асоціація архітекторів, Національна спілка архітекторів України, Фонд Дреєра, Gehl та ін. Україна, 2024. 120 с. ISBN 9788797420898
168. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель : Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 № 169. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 16.07.2018 за № 822/32274. Поточна редакція від 12.09.2023.
169. Про затвердження Порядку визначення меж та режимів використання історичних ареалів населених місць, обмеження господарської діяльності на території історичних ареалів населених місць : Постанова Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 р. № 318 : чинна редакція від 05.12.2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/318-2002-%D0%BF#Text> (дата звернення: 11.05.2026).
170. Про затвердження Порядку проведення професійної атестації осіб, які мають намір провадити діяльність із сертифікації енергетичної ефективності будівель та обстеження інженерних систем : Постанова Кабінету Міністрів

України від 11 липня 2018 р. № 548 // Офіційний вісник України. — 2018. — № 59. — С. 63. — Ст. 2083.

171. Про затвердження Порядку проведення сертифікації осіб, які мають намір провадити діяльність із сертифікації енергетичної ефективності, енергетичного аудиту будівель та обстеження технічних установок : Постанова Кабінету Міністрів України від 16 січня 2024 р. № 40. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/40-2024-%D0%BF#Text> (дата звернення: 17.05.2026).
172. Про охорону культурної спадщини : Закон України від 08.06.2000 № 1805-III. Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text> (дата звернення: 17.05.2026).
173. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії та затвердження Національного плану збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.01.2020 № 88-р. Поточна редакція від 29.12.2023.
174. Проект Закону про Стратегію сталого розвитку України до 2030 року № 9015 від 07.08.2018 р. Верховна Рада України. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/JH6YF00A> (дата звернення: 11.05.2026).
175. Проскураков В. І. Принципи розвитку архітектурної типології українського театру : дис. ... д-ра архітектури : 18.00.02 / В. І. Проскураков. — Львів, 2002. — 418 с.
176. Рибчинський О. В. Формування і ревіталізація середмість історичних міст України : автореф. дис. ... д-ра архітектури : 18.00.01. Львів, 2017. 40 с.
177. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року» № 1803-р від 29.12.2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 17.05.2026).

178. Сергійчук О. В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних споруд : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.01.01 Прикладна геометрія, інженерна графіка. Київ, 2008. 39 с.
179. Ситник Г. П., Комаха Л. Г., Рудик А. О. Основи теорії систем та системного аналізу : навчальний посібник. Київ : ТОВ «Академпрес», 2024. 160 с. URL: <https://ipacs.knu.ua/pages/dop/391/files/16db659a-6764-4c03-86b2-f517aec290b6.pdf> (дата звернення: 17.05.2026).
180. Слепцов О. С. Реконструкція громадських будівель і комплексів. Київ : А+С, 2018. 272 с. : іл. (Серія «Наука–практика–творчість», кн. 11). Підручник для студентів закладів вищої освіти за напрямом підготовки «Архітектура».
181. Товбич В., Попович Є. Засоби та методи 3D сканування для створення фантомних моделей архітектурних об'єктів. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ. КНУБА, 2023. Вип. 67. С. 372–381. DOI: 10.32347/2077-3455.2023.67.372-381.
182. Тімохін В., Шебек Н. Концепція територіально-просторової організації регіональних мереж осередків архітектурно-містобудівної спадщини на теренах України. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2024. Вип. 70. С. 163–180. DOI: 10.32347/2077-3455.2024.70.163-180.
183. Фаренюк Г., Фаренюк Є. Реалізація параметричного методу у сучасних нормах з енергоефективності будівель. Наука та будівництво. 2025. Т. 35, № 1. DOI: 10.33644/2313-6679-1-2023-1.
184. Фоменко О. О. Методологія аналізу та оцінка естетичної якості морфологічних властивостей архітектурних об'єктів : дис. ... канд. архітектури : 18.00.01 / О. О. Фоменко. — Харків, 2003. — 387 с.
185. Філософія. Курс лекцій : навч. посібник / Бичко І. В., Табачковський В. Г., Горак Г. І. та ін. Київ, 1993. С. 16–29, 315–329, 369–401, 445–477, 503–514.
186. Чепелик В. В. Український архітектурний модерн : монографія / упоряд. З. В. Мойсеєнко-Чепелик. Київ : КНУБА, 2000. 196 с.
187. Через російську агресію в Україні постраждали 872 пам'ятки культурної спадщини. Міністерство культури України. 09.01.2024. URL:

<https://mincult.gov.ua/news/cherez-rosijsku-agresiyu-v-ukrayini-postrazhdaly-872-pamyatky-kulturnoyi-spadshhyny/> (дата звернення: 17.05.2026).

188. Чернюк С. Ю., Костюченко О. А. Реновація модерністської архітектури. Невизнана спадщина. Теорія та практика дизайну. 2022. № 26. С. 116–124. DOI: 10.32782/2415-8151.2022.26.14.
189. Чижмак Д. А. Принципи архітектурно-планувальної організації екологічних висотних адміністративних будівель : дис. ... канд. архітектури: 18.00.02 / Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ, 2012. 200 с.
190. Чижмак Д. А. Прийоми архітектурно-планувальної організації екологічно-збалансованих висотних громадських будинків. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2011. Вип. 28. С. 381–387.
191. Шамілов П. О. Огляд вимог nZEB в Європі: аналітичний звіт. Київ, 2024. 59 с. URL: https://rehouse.org.ua/sites/default/files/1.zvit_nzeb.pdf (дата звернення: 11.05.2026).
192. Шулдан Л. О. Принципи архітектурно-типологічного вдосконалення шкільних будівель з врахуванням енергозаощаджування : дис. ... канд. архітектури : 18.00.02 / Л. О. Шулдан. — Львів, 2007. — 230 с.
193. Шулдан Л. О., Колісник Р. М. Містобудівні та архітектурні прийоми інтеграції сонячних електростанцій в громадські комплекси. Комунальне господарство міст. 2018. Вип. 142. С. 190–198. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_142_36 (дата звернення: 11.05.2026).
194. Ясінський М. Р. Відтворення кварталів житлової забудови центральних частин малих історичних міст : дис. ... канд. архітектури : 18.00.01 / Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ, 2018.

Список використаних зображень, виконаних не автором

1.3 (1)

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/66/Blank_map_of_Europe_cropped.svg/960px-Blank_map_of_Europe_cropped.svg.png

1.3 (2) <https://www.vecteezy.com/png/27244023-ukraine-map-ukraine-flag-shaded-relief-color-height-map-3d-illustration>

1.6 (1) (2) (3) <https://concretecentre.com/Case-Studies/Jubilee-Library,-Brighton.aspx>

1.6 (4) <https://www.lomax.design/work/jubilee-library/>

1.6 (5) (6) <https://www.rijksmuseum.nl/en/press/press-releases/rijksmuseum-awarded-five-stars-for-sustainable-management>

1.6 (7) (8) (9) <https://www.dezeen.com/2013/04/04/rijksmuseum-by-cruz-y-ortiz-arquitectos-and-michel-wilmotte/>

1.7 (1) (2) (3) (4) (5) <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/16/6720>

1.7 (6) (7) (8) (9) <https://divisare.com/projects/371458-david-chipperfield-architects-davide-apicella-neues-museum>

1.8 (1) (2) (3) (4) (5) <https://divisare.com/projects/386190-groupwork-amin-taha-timothy-soar-15-clerkenwell-close>

1.8 (6) (7) (8) (9) (10) (11) <https://www.kpmb.com/project/manitoba-hydro-place/>

1.9 (1) (2) (3) (4) (5) <https://www.sauerbruchhutton.de/en/project/kfw>

1.9 (6) (7) (8) <https://www.brown-carroll.co.uk/bloomberg-london>

1.9 (9) (10) <https://www.dezeen.com/2017/10/04/norman-foster-bloomberg-european-headquarters-london-wondsworth-group-riba-stirling-prize-office/>

1.10 (1) (2) (3) (4) (5) (6) <https://henninglarsen.com/projects/siemens-global-hq>

1.10 (7) (8) (9) <https://plparchitecture.com/the-edge/>

1.11 (1) (2) (3) (4) <https://wilkinsonreyre.com/projects/the-crystal>

1.11 (5) (6) (7) (8) <https://www.herzogdemeuron.com/projects/201-caixaforum-madrid/>

1.12 (1) (2) (3) <https://www.3dreid.com/project/one-angel-square/>

1.12 (4) (5) (6) (7) <https://bondbryan.com/project/engineering-heartspace/>

2.10 (1) [https://global.discourse-](https://global.discourse-cdn.com/mcneel/uploads/default/original/4X/4/6/4/464573be3010c46bef73aa2081cf38ea14e3251f_2_1035x330.png)

[cdn.com/mcneel/uploads/default/original/4X/4/6/4/464573be3010c46bef73aa2081cf38ea14e3251f_2_1035x330.png](https://global.discourse-cdn.com/mcneel/uploads/default/original/4X/4/6/4/464573be3010c46bef73aa2081cf38ea14e3251f_2_1035x330.png)

2.12 (1) <https://toolbox.decodingspaces.net/wp-content/uploads/2018/05/Simulation-output.png>

2.12 (2) <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/en-us/media-library/2020/planning-behind.pdf>

2.12 (3) https://www.linkedin.com/posts/atreeo-developments_were-pleased-to-share-the-union-canal-residency-7432700057116524800-Vh9

2.12 (4) <https://toolbox.decodingspaces.net/parametric-assistance/>

2.12 (5) <https://toolbox.decodingspaces.net/evolving-configurational-properties/>

2.12 (6) <https://discourse.mcneel.com/t/relieve-geometry-on-topography-surface/87356>

2.12 (7) <https://discourse.mcneel.com/t/topography-surface-from-contour-lines-irregular-area-borders/180347>

2.12 (8) <https://plus.ashrae.org/ashrae-captures-pv-d-vault-use-case-solar-simulation-results-on-building-envelopes>

2.12 (9) <https://discourse.mcneel.com/t/new-ghplugin/39307>

3.8 (1) <http://www.spaceworkers.pt/en/projects/conjunto-habitacional-hans-isler/>

3.8 (2) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MaisonHerm%C3%A8s-Tokyo-RenzoPiano-2.jpg>

3.8 (3) <http://mail.langleyacademy.org/documents/6thform/2017-18/InductionWeekWork/Photography.pdf>

3.8 (4) https://www.researchgate.net/figure/Hourly-heat-map-of-the-temperature-evolution-C-in-Toulouse-for-historical-data-and_fig2_381756983

3.8 (5) <https://www.brickworks.com.au/articles/architecture/best-brick-architecture/>

3.8 (6) <https://splintersociety.com/project/newburgh-light-house>

3.9 (1) https://www.flaticon.com/free-icon/buildings_942153?term=building&page=1&position=19&origin=search&related_id=942153

3.9 (2) <https://paginaswebsac.com.ar/disenio-web-buenos-aires/>

3.9 (3) <https://www.vecteezy.com/vector-art/15182588-house-solar-panel-icon-outline-style>

3.9 (4) https://www.flaticon.com/free-icon/modern-house_9969123?term=modern+building&page=3&position=94&origin=search&related_id=9969123

3.9 (5) https://www.flaticon.com/free-icon/modern_4693999?term=modern+building&page=3&position=65&origin=search&related_id=4693999

3.9 (6) <https://www.shutterstock.com/image-vector/vibrant-neighborhood-community-living-vector-icon-2389695667>

3.9 (7) <https://urbanrigger.com/technology/>

ДОДАТОК А

Впровадження та апробація результатів дослідження

Всеукраїнська
громадська організація
“ЖИВА ПЛАНЕТА”

02094, Україна, м. Київ,
пров. Херсонський, 1-В, оф. 317
+ 38 044 332-84-08, 332-84-09
info@livingplanet.org.ua
www.livingplanet.org.ua



All-Ukrainian NGO
“LIVING PLANET”

02094, Ukraine, Kiev,
Khersonskiy lane 1B, office 317
+ 38 044 332-84-08, 332-84-09
info@livingplanet.org.ua
www.livingplanet.org.ua

Вих. № 32 від 12 лютого 2025 року

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Кордяки Роксолани Михайлівни

у проєкт СОУ OEM 08.002.41.032:20XX

«Система екологічної сертифікації та маркування згідно з ДСТУ ISO 14024:2018 (ISO 14024:2018, IDT). Громадські будівлі. Екологічні критерії та метод оцінювання життєвого циклу на етапах проєктування та будівництва»

Цей акт складений на підтвердження того, що наукові висновки, результати та рекомендації дисертаційної роботи Кордяки Роксолани Михайлівни на тему «Методичні основи архітектурно-планувальної організації енергоефективних цивільних будівель (на прикладі історичної забудови найкрупніших міст)» на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 191 «Архітектура та містобудування» впроваджені у проєкті першої редакції СОУ OEM 08.002.41.032:20XX «Система екологічної сертифікації та маркування згідно з ДСТУ ISO 14024:2018 (ISO 14024:2018, IDT). Громадські будівлі. Екологічні критерії та метод оцінювання життєвого циклу на етапах проєктування та будівництва» в розділі «АРХІТЕКТУРА ТА ПЛАНУВАННЯ», зокрема, підрозділах:

- 7.1. Якість архітектурних рішень;
- 7.3. Озеленення будівлі.

Президент

+38099-642-81-57



Світлана БЕРЗІНА

"ВІКТОРІЯ ПАРК"
Приватне підприємство

79017, м. Львів, вул. М. Рильського, 4
ЄДРПОУ 41274292
Р/р 85325365000002600301896269
ПАТ «КРЕДОБАНК»
МФО 32536
Платник єдиного податку, 3 група

Вих.№ 16 від 19 листопада 2025р.

АКТ
про апробацію результатів дисертаційної роботи
Кордияки Роксолани Михайлівни

у проєкті "Ізовіст" компанії ПП «ВІКТОРІЯ ПАРК» для розробки методичної системи та алгоритмічного інструменту для формування функціональної програми громадських закладів в існуючій та проєктованій забудові

Цей акт складений на підтвердження того, що наукові висновки, результати та рекомендації дисертаційної роботи Кордияки Роксолани Михайлівни на тему «Методичні основи архітектурно – планувальної організації енергоефективних цивільних будівель (на прикладі історичної забудови найкрупніших міст)» на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 191 «Архітектура та містобудування» впроваджені у проєкті першої редакції методики та алгоритмічного "Ізовіст". Методика призначена для розробки методичної системи та алгоритмічного інструменту на базі методу "полів ізовіст" для функціонального програмування перших поверхів та комерційних приміщень на основі інтенсивності пішохідного й транспортного трафіку та видимості фасадів, що також дає можливість виявити та диференціювати громадську складову в структурі існуючої та проєктованої забудови, а також її просторові характеристики, згідно відкритості та орієнтації фасадів, щільності пішохідних потоків та доступності, що безпосередньо впливатимуть на тепловий режим будівель та формуватимуть специфіку енерговитрат громадських осередків в будівлях. Функціональна програмна диференціація згідно алгоритмічної розробки дає можливість виявляти та аналізувати ті елементи громадських функцій, що потенційно формуватимуть теплові втрати, а також їх режим огорожуючих конструкцій та енергетичну поведінку будівель у міському контексті.

Директор



Василів Андрій



МОН
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

просп. Повітряних Сил, 31,
м. Київ, 03037
тел.: +38 (044) 248-32-65,
e-mail: knuba@knuba.edu.ua,
web: knuba.edu.ua
ЄДРПОУ 02070909

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи Кордяки Роксолани Михайлівни на тему «Методичні основи архітектурної організації енергоефективних громадських будівель (в умовах історичної забудови)»

Акт складено відповідно до подання завідувача кафедри архітектурного проєктування цивільних будівель і споруд, д. арх., проф. Куцевича В.В. та заступника декана архітектурного факультету, кандидата архітектури доц. Брідні Л.Ю. про те, що окремі наукові висновки, результати та рекомендації дисертації **Кордяки Роксолани Михайлівни на тему «Методичні основи архітектурної організації енергоефективних громадських будівель (в умовах історичної забудови)»** було впроваджено в освітній процес, зокрема в дисципліни для студентів спеціальності 191 «Архітектура та містобудування» за освітньо-науковою програмою «Архітектура будівель і споруд» другого (магістерського) рівня підготовки здобувачів:

- ОК.06 «Концептуальне архітектурне проєктування»;
- «Тенденції розвитку архітектури цивільних об'єктів»;
- «Архітектура енергоефективних громадських будівель»;
- «Основи реконструкції житлових і громадських будівель»;
- «Методи проєктування енергоефективних будівель».

У освітньому процесі застосовано розроблений авторкою методологічний підхід формування енергоефективних будівель з врахуванням умов історичної забудови. При виконанні практичних завдань з цих дисциплін впроваджено методи аналізу історичної забудови, методикку параметричного формування енергоефективних громадських будівель у історично складеному середовищі, прийоми інтеграції нової забудови в історичне середовище.

Впровадження результатів наукової роботи Кордяки Р.М. дозволило вдосконалити робочі програми навчальних дисциплін та сприяли набуттю теоретичних знань і практичних проектних навичок студентів під час підготовки фахівців за спеціальністю 191 «Архітектура та містобудування».

Дисертаційну роботу виконано у межах наукової теми «Принципи формування сучасних типів цивільних будівель і споруд» (державний реєстраційний номер 0121013086, зареєстрована 22.09.2021 р. на кафедрі архітектурного проєктування цивільних будівель і споруд.

Проректор з НМД

Андрій ШПАКОВ



ДОДАТОК Б

Участь у міжнародних освітніх проєктах,
курсах підвищення кваліфікації, воркшопах



Co-funded by
the European Union

CERTIFICATE

Innovative Master Courses Supporting the Improvement of the
Energy and Carbon Footprint of the Ukrainian Building Stock

ERASMUS+ CBHE PROJECT no. 101082898

KORDYIAKA Roksolana

born on 12 November 1998, belonging to the
Kyiv National University of Architecture and Construction

successfully participated on the intensive retraining course in
“Energy Efficient Buildings”, delivered by Department of Sanitary
and Environmental Engineering and Department of Building
Services, Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of
Civil Engineering, by attending 38 hours of lectures.

16 – 20 September 2024 in Bratislava, Slovakia

prof. Ing. Stefan Stanko, PhD.
Vice Rector

Slovak University of Technology in Bratislava

STU
SvF
SLOVAK UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY IN BRATISLAVA
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

KZEI
Department of Sanitary and
Environmental Engineering

KTZB
Department
of Building Services

CERTIFICATE

Erasmus+ CBHE Project no. 101082898-2022

UKRENERGY

«Innovative Master Courses Supporting the
Improvement of the Energy and Carbon Footprint of the
Ukrainian Building Stock»



Roksolana KORDYIACA

born on Nov. 12, 1998, teacher at Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA)

has successfully completed, from 13th January to 7th February 2025, the empowerment course for teaching staff in "**Energy Efficient Buildings**" hosted by the University of Genoa in the framework of the Erasmus+ project CBHE "UKRENERGY" by attending 140 hours of lectures/classes. The trainee has presented a case study entitled "**Architectural principles of spatial and volumetric formation of energy efficient buildings in the historical area**".

Course Academic Coordinator
Prof. Luca Antonio Tagliafico

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Project coordinator
Mr. Angelo Muscato

University of Genoa, International Cooperation Office

7th February 2025



STATE AGENCY ON ENERGY EFFICIENCY
AND ENERGY SAVING OF UKRAINE



Erasmus+



Co-funded by
the European Union



UKRENERGY

CERTIFICATE

Kordyaka Roksolana

Arch., PhD student of Department of Architectural Design of Civil Buildings and Structures,
Kyiv National University of Construction and Architecture

has successfully completed, from 12th to 21st March 2025, the empowerment course for teaching staff in “Energy Efficiency Buildings” managed by the State Agency on Energy Efficiency and Energy Savings of Ukraine in the framework of the ERASMUS+ UKRENERGY project “Innovative Master Courses Supporting the Improvement of the Energy and Carbon Footprint of the Ukrainian Building Stock” by attending 60 hours of hands-on work. The trainee has prepared a case study entitled “**Methods of energy-efficient assessment of built Ukrainian architectural historical environment**”.

Head

Hanna ZAMAZIEIEVA

Course Coordinator
Svitlana PASICHNA

21st March 2025



Certificate of Participation

This is to certify that

Roksolana Kordyiaka

has successfully completed the

Coventry University

and

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA)

Collaborative Online International Learning Project:

“Kyiv + Coventry Joint Master of Architecture Conference on Adaptive Architecture”

2025

Coventry University Project Leads: Dr Hossein Sadri, Dr Tulika Gadakari, Mrs Satvinder Kaur and Mr Issias Yohanes

KNUCA Project Lead: Tetyana Kashchenko, PhD, Associate prof.

Coventry University
 Priory Street
 Coventry
 CV1 5FB
 United Kingdom





From
the People of Japan

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

This is to certify that

Roksolana Kordyiaka

has participated in and completed the in-person training/course on 3D Laser Scanning and

Photogrammetry for Post-Disaster Heritage Sites Documentation,

organized by UNESCO, in the framework of its project "Preserving cultural heritage in

Ukraine: Reinforcing monitoring, emergency response and preparedness at damaged

cultural and natural heritage sites in Ukraine, including the World Heritage property 'The

Historic Centre of Odesa' supported by UNESCO, and funded by the Japan.

Kyiv, 22-26 July 2024

Chiara Dezzi Bardeschi

Head of UNESCO Desk in Ukraine